HAL
open science

Réalité et intelligibilité : chemins épistémologiques. Recherches en physique, en philosophie et en histoire des sciences. Notice des Titres et travaux

Michel Paty

To cite this version:

Michel Paty. Réalité et intelligibilité : chemins épistémologiques. Recherches en physique, en philosophie et en histoire des sciences. Notice des Titres et travaux. 2003. halshs-00256765

HAL Id: halshs-00256765

https://shs.hal.science/halshs-00256765

Preprint submitted on 17 Feb 2008

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.

Réalité et intelligibilité : chemins épistémologiques

Recherches en physique, en philosophie et en histoire des sciences

Notice des Titres et travaux

mars 2003

édition révisée mise à jour, janvier 2008

par

Michel PATY

Directeur de recherche émérite au CNRS

NOTE POUR LA LECTURE DE LA VERSION WORD DU FICHIER INFORMATIQUE.

Edition électronique

Equipe REHSEIS

(Recherches épistémologiques et historiques sur les sciences exactes
et sur les institutions scientifiques, UMR 7596)
CNRS et Université Paris 7-Denis Diderot,
Adresse postale : Centre Javelot, 2 Place Jussieu- F-75251 PARIS Cedex 05, France
Tél. (33) 01- 57276327, 28 (Secr :24 ; 25)
Courriel (e-mail) : michel.paty@univ-paris-diderot.fr

RESUME.

L'auteur retrace, à l'occasion de sa prise de retraite et de son accès à l'Eméritat du Centre National de la Recherche Scientifique, les travaux qui ont jalonné son parcours intellectuel et sa carrière de chercheur scientifique. La partie intitulée « Itinéraire. Recherches et contributions » décrit de manière détaillée les thèmes étudiés, qui ont porté (durant une vingtaine d'années) sur la physique des particules quantiques élémentaires et des champs fondamentaux d'interaction, puis (au long des vingt-cinq années suivantes), sur la philosophie, l'épistémologie et l'histoire des sciences. Le lien entre les deux domaines d'investigation est rendu par le titre de cette « Notice » : « *Réalité et intelligibilité* », double préoccupation fondamentale qui court de l'un à l'autre. *Connaître et comprendre* la réalité profonde de la matière, c'est ce que la physique contemporaine propose « sur le vif » par ses descriptions théoriques et ses expériences de laboratoire. Mais c'est aussi une motivation et une exigence intellectuelle qui peut être considérée en tant que telle, par-delà l'apprentissage et la pratique de la recherche scientifique, et qui porte à s'interroger aussi sur la signification et sur la portée de ces connaissances, quant aux contenus qu'on leur assigne, à leur surgissement et à leur mouvement, aux modifications qu'elles subissent dans le temps, qui est celui de l'histoire. La description proposée par l'auteur des thématiques explorées dans ses études critiques sur les sciences et leur histoire (surtout la physique, classique et contemporaine, mais aussi dans sa jonction à d'autres disciplines), et sur des problèmes de philosophie de la connaissance (notamment autour du réalisme critique, de la représentation symbolique du monde, de la création rationnelle), propose les jalons de ses *chemin épistémologiques* dans cette quête.

MOTS-CLES :

Concepts, Champs fondamentaux d'interaction, Connaissance scientifique, Création scientifique, Epistémologie, Histoire, Histoire des sciences, Intelligibilité, Mathématique (pensée -), Philosophie de la connaissance, Physique classique, Physique contemporaine, Physique quantique, Particules élémentaires, Rationalité, Réalisme critique, Réalité physique, Relativité, Style scientifique), Symbolique (pensée -), Temps.

KEY-WORDS :

Concepts, (Scientific) Creation, Epistemology, (Fundamental) Fields of Interaction, History, History of Science, Intelligibility, (Scientific) Knowledge, Mathematical Thought, Philosophy of Knowledge, (Elementary) Particles, (Classical) Physics, (Contemporary) Physics, Quantum Physics, Rationality, (Critical) Realism, (Physical) Reality, Relativity, (Scientific) Style, Symbolic Thought, Time.

Pagination de l'édition originale (mars 2003)

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS p. 5-6

I. CURRICULUM VITÆ, en guise de résumé p. 7-26

I.1. Informations. (Diplômes.- Carrière professionnelle. Fonctions. - Comités, commissions, conseils scientifiques.- Groupes de travail et collaborations.- Editions et comités éditoriaux. - Distinctions.) p. 7-11

I.2. Résumé des travaux de recherche (En physique : thèmes A à C.- En philosophie, épistémologie, histoire des sciences : thèmes D à P.- Sciences, culture et société, réflexions et participations : thèmes Q à T). p. 11-16

I.3. Enseignements p. 16

I.4. Abstract in english p. 16-19

I.5. Bibliographie sélective p. 19-25

II. ITINERAIRE. RECHERCHES ET CONTRIBUTIONS p. 27-114

II.1. Science et philosophie. Chemins épistémologiques
(II.1.1 Introduction, p. 27-28. - II.1.2 Formation et parcours, p. 28-33.) p. 27-33

II.2. Recherches en physique sur les particules quantiques élémentaires (1962-1983) (II.2.1 (Thème A :) Physique du neutrino, p. 34-35.- II.2.2. (Thème B :) Recherches sur les particules élémentaires et les champs d'interaction, p. 35-36.- II.2.3 (Thème C :) Mises au point de synthèse, p. 36.) p. 33-36

II.3. Recherches en : Sur la constitution et l'intelligibilité des connaissances scientifiques (II.3.1 Introduction. Connaissance et intelligibilité, p. 37-40.- II.3.2 (Thème D) : Physique, mathématique et philosophie à l'âge classique, p. 40-50.- II.3.3 (Thème E) : Travail scientifique et pensée philosophique, p. 50-58.- II.3.4 (Thème F) : Contributions à l'épistémologie et à l'histoire de la théorie de la relativité, p. 58-59.- II.3.5 (Thème G) : Les physiciens et le débat sur la physique quantique, p. 59-62.- II.3.6 (Thème H) : Epistémologie de la physique subatomique et de son rapport à la cosmologie, p. 62-67.- II.3.7 (Thème I) : L'intelligibilité du domaine quantique, p. 67-76.- II.3.8 (Thème J :) Matière et concepts, p. 76-80-.- II.3.9 (Thème K) : Mathématisation et prédictivité, p. 81-88.- II.3.10 (Thème L) : Pensée scientifique et signification, p. 88-96.- II.3.11 (Thème M) : Philosophie de la création scientique, p. 96-99.- II.3.12 (Thème N) : Traditions et transmission des connaissances scientifiques, p. 99-100.- II.3.13 (Thème O) : Universalité, rationalité, vérité des sciences. Des questions philosophiques à l'épreuve de l'histoire, p. 101-105.- . II.3.14 (Thème P) : Etudes critiques diverses, p. 105). p. 37-105

II.4. Science, culture et société : Réflexions et participation (II.4.1 (Thème Q :) Divulgation des connaissances scientifiques, p. 105-110 (II.4.1.a : Participation à des réalisations audiovisuelles, p. 105-107.- II.4.1b : Livres, p. 107. - II.4.1.c : Articles (choix), p. 107-110). - II.4.2 (Thème R :) Réflexion sur l'enseignement et la recherche en philosophie et histoire des sciences, p. 110.- II.4.3 (Thème S:) Problèmes de science, société, politique et développement, p. 110-112.- II.4.4 (Thème T:) Autres textes (Arts et littérature), p. 113). p. 105-114

III. ACTIVITES DE RECHERCHE ET D'ENSEIGNEMENT p. 115-172

III.1. Introduction. p. 115-116

III.2. Activités et fonctions (III.2.1 Diplomes, titres, distinctions, appartenance à des sociétés savantes, p. 117.- III.2.2 Fonctions et responsabilités, p. 118-119.- III.2.3 Autres responsabilités : Conseils scientifiques, commissions, etc., p. 119-120.- III.2.4 Comités de rédaction, p. 120.- III.2.5 Fondation et direction de revues, p. 120.- III.2.6 Participation à des groupes de travail et collaborations, p. 120-121.- III.2.7 Edition critique de textes scientifiques, p. 121). p. 115-121

III.3. Organisation de séminaires et de colloques (III.3.1 Organisation de séminaires réguliers, p. 122.- III.3.2 Organisation de colloques, p. 122-124). p. 122-134

III.4. Enseignement et formation de chercheurs (III.4.1 Enseignements, p. 124-128.- III.4.2 Directions de mémoires, p. 128.- III.4.3 Directions de thèses de doctorat, p. 128-133.- III.4.4 Directions et parrainages de chercheurs, p. 133.) p. 124-133

III.5. Collaborations internationales et séjours à l'extérieur (III.5.1. Collaborations et échanges internationaux, p. 133-135.- III.5.2 Séjours à l'étranger, p. 135-136). p. 133-136

III.6. Participations à des colloques et congrès. p. 137-148

III.7. Conférences et exposés à des séminaires. p. 148-168

III.8. Activités d'évaluation et d'expertise (III.8.1 Participation à des jurys, p. 168-171.- III.8.2 Consultations et rapports d'expertise, p. 171-172). p. 168-172

IV. PERSPECTIVES DE TRAVAIL p. 173-175

V. BIBLIOGRAPHIE. PUBLICATIONS (par ordre chronologique) p. 177-212

ANNEXE A. *Déclarations d'orientation de la revue Epistémologiques et de la collection « Penser avec les sciences »* p. 213-215

ANNEXE B. *Recherches sur la réalité physique (1983).* p. 217-253

ANNEXE C. *Rapport sur la carrière scientifique de MP par la section de Physique corpusculaire au moment du changement de section du CNRS (1991).* p. 255-256

ANNEXE D. Attribution de l'Eméritat du CNRS p. 257

ANNEXE E. Hommage de la revue de philosophie brésilienne *Scientiæ Studia* p 258

ANNEXE F. Colloque en hommage à M.P, Sao Paulo, 24 nov. 2003 p. 259

ANNEXE G. Academia Colombiana de Ciencias, 2006.

ANNEXE H. Colloque de Tunis, 22-24 nov. 2007

Avant-propos

Ce document retrace mes activités de recherche et d'enseignement au long de 42 années. Ces activités se sont effectuées, pour l'essentiel, après des études à Bordeaux et à Paris, au Centre National de la Recherche Scientifique, depuis octobre 1966, après une période préliminaire de préparation de thèse de doctorat (de 1961 à 1965), comme chercheur contractuel au Laboratoire de Physique Nucléaire de l'Ecole Polytechnique et du Collège de France (Paris, 1961-62) puis au Centre Européen de Recherches Nucléaires (Genève, 1962-65), suivie d'une année de service militaire effectué en Coopération ivile universitaire au Brésil (1965-1966) ; et avec une interruption en 1989 et 1990, où j'ai passé deux années pleines en détachement, contracté par les services de la Coopération Culturelle du Ministère Français des Affaires étrangères et par l'Université de São Paulo (Brésil) comme professeur au Département de Philosophie de cette université.

Ma carrière a été marquée par un changement important d'orientation, puisque, l'ayant commencé dans la recherche en physique fondamentale (et ayant travaillé dans cette direction pendant plus de vingt années, de 1962 à 1983, en physique des particules quantiques élémentaires), je l'ai poursuivie ensuite, de 1983 à aujourd'hui (en 2003, soit vingt autres années), en philosophie, épistémologie et histoire des sciences[1]. J'avais acquis, avant d'effectuer ce changement, une formation en philosophie (de la licence au doctorat), à l'Université de Strasbourg, de 1969 à 1977, en parallèle à mes recherches en physique.

Ce changement de thème de recherche et de discipline n'était pas une rupture ; il m'apparaît au contraire comme inscrit dans la logique d'un parcours intellectuel qui, parti d'une interrogation sur la constitution du monde (le monde physique, en l'occurrence), en est venu à un questionnement sur la nature et sur la signification de cette connaissance. Il est assez bien admis aujourd'hui, que la physique (comme les autres sciences) n'est pas étrangère à la philosophie. Mon cheminement de l'une à l'autre explique le titre que j'ai donné à ce rapport d'activité de presque une vie, qui peut paraître à première vue assez peu « disciplinaire » : *Réalité et intelligibilité*, *chemins épistémologiques (Recherches en physique et en philosophie)*. Mes recherches peuvent, certes, être qualifiées d'interdisciplinaires, mais selon une conception de l'interdisciplinarité qui fait pleinement droit aux spécificités disciplinaires, la physique, la philosophie et l'histoire des sciences, pour parvenir à des résultats rigoureux et, dans toute la mesure du possible, vérifiables.

---

[1] Je compte, bien entendu, poursuivre ces recherches après ma mise à la retraite qui intervient cette année (2003), où j'atteins l'âge de 65 ans. J'ai été nommé Directeur de recherche émérite au CNRS.

Outre mes recherches dans ces deux domaines, marquées par des publications spécialisées, j'ai assumé dans ces deux étapes de ma vie professionnelle des responsabilités relativement lourdes comme celle de directeur d'une équipe importante dans les deux (groupe CBLL au Centre de Recherches Nucléaires, CRN, de Strasbourg, de 1967 à 1983, puis équipe REHSEIS, à Paris, de 1993 à 2000) ; de sous-directeur d'un grand centre (le même CRN, à Strasbourg, en 1973 et 1974) ; de président d'une section du Comité National du CNRS (de 1980 à 1983).

J'ai écrit plus haut qu'il est assez bien admis, aujourd'hui, que les sciences ne sont pas étrangères à la philosophie, à l'épistémologie et à l'histoire des sciences. Cela ne signifie pas qu'il soit facile de les tenir ensemble, même si le défi intellectuel que cela représente est passionnant. Je ne dirai rien des pesanteurs administratives, des difficultés matérielles et des retards de carrière que la réponse à ce défi peut occasionner. Je voudrais surtout dire qu'il était essentiel d'ouvrir - ou d'élargir - les voies qui permettent à d'autres, et notamment à de plus jeunes, d'y répondre. C'est ce que, avec d'autres chercheurs également motivés, nous avons tenté, en nous préoccupant de créer des structures qui facilitent et optimisent un tel projet, par l'enseignement, la formation et la stimulation à la recherche[2].

On trouvera dans ce document les éléments principaux de mes activités de recherche dans les deux directions disciplinaires mentionnées, auxquelles s'ajoutent d'autres aspects, comme la contribution à l'organisation de la recherche, l'enseignement (exposés, cours, et directions de thèses), les relations au niveau international (enseignements dans diverses universités à l'étranger, animation de collaborations internationales, notamment avec l'Amérique latine, l'Inde et l'Afrique, sans oublier l'Europe), et la contribution à la divulgation des connaissances ainsi qu'à la réflexion sur les rapports entre science et société.

J'ai pensé faciliter la tâche du lecteur en proposant en entrée mon *Curriculum Vitae*, dans la mesure où il constitue un résumé de ma carrière et de mes activités. Celles-ci sont décrites plus en détail dans les pages suivantes. J'ai laissé à la suite de ce CV une liste sélective de mes publications, surtout en philosophie, épistémologie et histoire des sciences, une liste plus complète, incluant également celles en physique et celles de divulgation, étant donnée à la fin de cette *Notice des titres et travaux*.

---

[2] Il s'agit de l'équipe de recherche REHSEIS et du DEA et Formation Doctorale en Epistémologie et Histoire des Sciences de l'Université Paris 7-Denis Diderot, créés respectivement en 1983 et 1985, et très actifs aujourd'hui, qui ont tous deux porté de nombreux fruits au point d'être considérés comme parmi les plus productifs en travaux de recherche et parmi les plus formateurs dans la discipline « Epistémologie et Histoire des Sciences », à la jonction avec les sciences proprement dites.

I
Curriculum vitæ

En guise de résumé

(2003)

(mis à jour, janvier 2008)

I.1 INFORMATIONS

ETAT-CIVIL

Michel, Henri, Lucien, Georges PATY

Né le 12.3.1938 à Bordeaux. Nationalité française. 2 enfants, divorcé, remarié.

Adresse personnelle : 77 avenue de Verdun, F-94200 Ivry-sur-Seine, France.

Adresse professionnelle : Equipe REHSEIS (UMR 7596), CNRS et Université Paris 7-Denis Diderot, Centre Javelot, 2, place Jussieu - F-75251 PARIS Cedex 05 PARIS, France.
Tél. trav. : Tél. (33) 0157276327, 28 (chercheurs), 0157276324, 25 (secrétariat).
Courriel (e-mail) : michel.paty@univ-paris-diderot.fr

DIPLOMES

- Licence ès-Sciences Mathématiques, Université de Bordeaux, 1959.
- Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) en Physique Corpusculaire et Théorique, Université de Bordeaux, 1960.
- Doctorat en Physique Corpusculaire et Théorique, Université de Bordeaux, 1962 (TH).
- Doctorat d'Etat ès-Sciences Physiques, Université de Paris-Orsay, 1965 (TH).
- Licence et Maîtrise en Philosophie, Université des Sciences Humaines-Strasbourg-2, 1969 et 1971.
- Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) en Philosophie, Université des Sciences Humaines-Strasbourg-2, 1972 (TB).
- Doctorat en philosophie, Université des Sciences Humaines-Strasbourg-2, 1977 (TH).

DISTINCTIONS

- *Prix de l'Académie des Sciences*, Paris (Prix Grammaticakis-Neumann, 1986, pour les travaux « en épistémologie et histoire de la physique contemporaine »).

- *Prix de l'Académie des Sciences Morales et Politiques*, Paris (Prix de la Fondation Gégner, 1989, pour le livre *La matière dérobée*).

- *Membre du Comité National Français d'Histoire et de Philosophie des Sciences* [3] (élu en

[3] De l'Union Internationale d'Histoire et de Philosophie des Sciences ; siège à l'Institut de France, Paris.

janvier 2001).

- *Directeur de recherche émérite au CNRS* (nommé en septembre 2003-).

- *Membre correspondant de l'Académie Internationale d'Histoire des Sciences* (élu en décembre 2005).

- *Miembro correspondiente estranjero de la Academia Colombiana de Ciencias Exatas, Fisicas y Naturales* (élu en mars 2006).

- *Membro correspondente estrangeiro da Academia Brasileira de Filosofia* (élu en avril 2006).

CARRIERE PROFESSIONNELLE, FONCTIONS EXERCEES

- Directeur de recherche émérite au Centre National de la Recherche Scientifique en Philosophie, Epistémologie et Histoire des Sciences. Affecté à l'Equipe REHSEIS (UMR 7596), CNRS et Université Paris-7 Denis Diderot.

Antérieurement

1) Chercheur en physique des particules élémentaires, 1961-1983.

- Boursier de 3è cycle de l'Enseignement supérieur, Bordeaux, sept. 1959-juillet 1961.

- Physicien-adjoint au Laboratoire de Physique Corpusculaire du Collège de France, Paris, août 1961-août 1962.

- Physicien au Centre Européen de Recherches Nucléaires (CERN), Genève, sept. 1962-février 1965.

- Professeur-assistant de physique à l'Universidade Nacional de Brasilia (UNB), juillet-décembre 1965, puis au Centro Brasileiro de Pesquisas Fisicas (CBPF), Rio de Janeiro, janvier-juin 1966. (Service national : d'abord aux armées, en France, mars-juin 1965, puis comme coopérant au Brésil, juillet 1965-juin 1966).

- Chargé de recherche, puis Maître de recherche (1973) au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), affecté au Centre de Recherches Nucléaires (CRN) de Strasbourg (CNRS et Université Louis Pasteur-Strasbourg-I), sept. 1966-août 1986. Responsable d'un groupe de recherche (groupe CBLL), sept. 1966-juillet 1983.

- Sous-directeur du Centre de Recherches Nucléaires, Strasbourg, janvier 1973-décembre 1974.

2) Chercheur en philosophie, épistémologie et histoire des sciences, depuis 1983.

- Directeur de recherche au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), affecté à l'équipe REHSEIS, depuis 1983. Directeur de recherche émérite au 1er sept. 2003.

- Fondateur (avec Christian Houzel et Roshdi Rashed) de l'équipe REHSEIS (Recherches Epistémologiques et Historiques sur les Sciences Exactes et les Institutions Scientifiques), "Jeune équipe" du CNRS, 1983-1985, « Equipe propre » (UPR 318) du CNRS depuis 1985, « Unité Mixte de Recherche » (CNRS &Université Paris 7-D. Diderot), depuis 1997. Directeur adjoint de cette équipe (1983-1992) et Responsable de l'Equipe pour l'Université Paris 7-Denis Diderot (janv. 1983-déc. 1997). Directeur de l'Equipe REHSEIS, UMR 7596, CNRS et Université Paris 7-Denis Diderot, janv. 1993- déc. 2000 [4].

- Fondateur (en 1985) avec Christian Houzel et Roshdi Rashed) du Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) et de la Formation Doctorale en Epistémologie et Histoire des Sciences de l'Université Paris 7-Denis Diderot, en association avec l'Université Paris 13-

[4] L'Equipe REHSEIS, Unité Propre de Recherches (UPR) du CNRS jusqu'en 1997, est devenue Unité Mixte de Recherches (UMR, CNRS-Université) en janvier 1998, officialisant ainsi ses liens avec l'Université Paris 7-Denis Diderot établis depuis ses débuts.

Villetaneuse. Responsable du DEA pour l'Université Paris 7-Denis Diderot (sept.1985- juil. 1992). Membre de la direction du DEA (1985-2003).

- Professor, Departamento de Filosofia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH), Universidade de São Paulo (USP, Brasil) (en congé du CNRS. Coopération USP-Ministère français des Affaires Etrangères), mars 1989- février 1991.

- Professor visitante, Departamento de Filosofia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH), Universidade de São Paulo (USP, Brasil), juillet 2004-juillet 2006.

COMITES, COMMISSIONS, CONSEILS SCIENTIFIQUES

Antérieurement

- Membre (élu) et Président de la *Section de Physique Nucléaire et Corpusculaire* (06) du *Comité National* du *Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)*, sept. 1980-février 1983.

- et autres participations, omises ici.

PARTICIPATION A DES GROUPES DE TRAVAIL ET COLLABORATIONS

Omises ici.

EDITION ET COMITES EDITORIAUX

Actuellement

- *Membre* des Comités de rédaction des revues *Discurso* (Philosophie, São Paulo, Br., 1990-), *Principia* (Epistémologie, Florianopolis, Br., 1997-), *Quipu* (Rev. Lat.-Américc. d'Histoire des sciences, México, Mex., 1995-), *Mâat* (Revue philosophique africaine, Douala, Cam., 1997-), *Philosophia Scientiæ* (Nancy, Fr, 1998-), *Scientiae Studia* (Depto Fil., USP, São Paulo, Brésil, 2003-). Membre du Comité de lecture de *La Revue d'Histoire du CNRS* (Paris, 1999-). Membre du Comité éditorial de la revue électronique *CLE e-Prints* (Centro de Lógica e História da Ciência, Campinas, Brésil, 2002-).

Antérieurement

- Editeur des *Cahiers Fundamenta Scientiæ* (CRN-ULP, Strasbourg) (100 numéros parus, 1972-1980), et co-rédacteur en chef, avec Baudouin Jurdant, de la revue *Fundamenta Scientiæ* (Strasbourg/Oxford puis São Paulo) (10 volumes parus soit 40 numéros, 1979-1989).
- Membre des Comités de rédaction ou de lecture des revues *Politique aujourd'hui* (1985-1989), *Actuel Marx* (1985-1992), *Didaskalia* (1993-1998), *Passages* (Paris, 1997-2003), *La Pensée* (1976-2007).
- Directeur de la collection « *Comprendre* », éditions Syros (Paris) (1992-1994), 7 livres parus.
- Co-rédacteur en chef (avec Pablo Mariconda et Jean-Jacques Sczeziniarz) de la revue internationale *Epistémologiques (Philosophie*, *Sciences, Histoire*.- *Philosophy, Science, History*, EDP Sciences, Paris/Discurso, São Paulo), 2000-.2003 (Arrêt provisoire après 3 numéros doubles).
- Directeur (avec Jean-Jacques Sczeziniarz) de la collection « *Penser avec les sciences* », EDP-Sciences, Paris (2001-). (4 vols. parus).

I. 2 RESUME DES TRAVAUX DE RECHERCHE

I. 2.1. RECHERCHES EN PHYSIQUE DES PARTICULES QUANTIQUES ELEMENTAIRES (de 1961 à 1983).

Recherches expérimentales et d'interprétation théorique.

A. *Physique du neutrino*. Premières investigations, 1962-1965, avec les résultas originaux suivants : détermination du facteur de forme axial faible du nucléon, limite inférieure de la masse du boson intermédiaire, limite supérieure des courants neutres, production de mésons π et de particules étranges, augmentation de la section efficace totale avec l'energie. - Nouvelles recherches, 1975-1983 : études, par interactions de neutrinos à courants chargés et neutres, de la structure des courants faibles et de la distribution de la matière en quarks, ainsi que des propriétés du champ d'interaction de jauge électrofaible…

B. *Autres recherches sur les particules élémentaires et les champs d'interaction*, 1966-1983 : interactions faibles, fortes et électromagnétiques de production et de désintégration de particules et résonances, identifications, propriétés de symétrie,constitution en quarks, identification de particules charmées.

C. *Mises au point de synthèse :* désintégrations électromagnétiques des bosons ; symétries des particules élémentaires ; état des tests de vérification des inégalités de Bell (en 1974 et 1977) ; état de la physique subatomique (de 1970 à 1995).

PUBLICATIONS DE RECHERCHE EN PHYSIQUE :

3 monographies (2 thèses et un cours), 82 autres travaux de recherche, dont 41 dans des publications internationales à comité de lecture (29 dans des revues, 12 dans des actes de congrès), 28 rapports officiels et 13 résumés publiés de communications à des congrès). Les revues internationales sont : *Il Nuovo Cimento*, *Physics Letters*, *Nuclear Instruments and Methods*, *Nuclear Physics*, *Physical Review*, *Zeitschrift fur Physik*.

I.2.2. PHILOSOPHIE, EPISTEMOLOGIE, HISTOIRE DES SCIENCES

(depuis 1972 ; à plein temps depuis 1983).

Mes recherches, passées et actuelles, dans ce domaine, peuvent être regroupées sous plusieurs thèmes, donnés ci-dessous avec les sujets étudiés correspondants.

D. *Physique, mathématique et philosophie à l'âge classique*.

«Mathesis universalis» et intelligibilité chez Descartes. Rationalité, invention et mathématisation des concepts physiques aux XVIIè et XVIIIè siècles. L'invention du temps instantané par Newton. Science et philosophie à l'époque des Lumières. Théorie et pratique de la connaissance chez d'Alembert. Etudes sur l'œuvre de d'Alembert, en sciences et en philosophie. D'Alembert, la science newtonienne et l'héritage cartésien. L'origine hydrodynamique du principe de d'Alembert. D'Alembert et la critique des probabilités. Des sciences physico-mathématiques à la physique mathématique au XVIIIè siècle. Mathématisation de la mécanique et

développements du calcul différentiel et intégral. La critique de l'idée de création au siècle des Lumières. Une métaphysique du mouvement à l'époque de d'Alembert : la théorie de F. de Vivens. Naissance de l'épistémologie (avant la dénomination), comme intermédiaire entre la philosophie et les sciences particulières. D'Alembert et la mathématisation de la physique au XVIIIe siècle. L'élément différentiel de temps et la causalité physique selon d'Alembert.

E. *Travail scientifique et pensée philosophique. La pensée des «savants-philosophes» des XIX è et XX è siècles.*

La pensée physique et la géométrie (les débats sur les géométries non euclidiennes, Riemann, Helmholtz, Poincaré, Einstein, Schlick, Reichenbach, Cassirer…). Critiques des concepts de la mécanique newtonienne (en part., Mach). Epistémologie et pensée physique de scientifiques et de savants-philosophes des XIXè et XXè siècles : Ernst Mach, Henry Le Chatelier, Pierre Duhem, Paul Langevin, et surtout Henri Poincaré (Empirisme et convention ; Géométrie, physique et philosophie) et Albert Einstein (Einstein philosophe, La dimension philosophique de sa pensée scientifique, sa pensée de la matière, Einstein et Newton, Einstein et Spinoza).

F. *Contributions à l'épistémologie et à l'histoire de la théorie de la relativité.*

Antécédents, élaborations, réceptions, interprétations. Optique et mouvement des corps (l'extension du principe de relativité à l'optique) au XIX è siècle. Etude comparative de l'invention de la relativité restreinte (les "styles scientifiques" de Hendryk A. Lorentz, Henri Poincaré, Albert Einstein dans leurs travaux simultanés de 1904-1905). Poincaré et le principe de relativité. Poincaré, Langevin et Einstein sur la relativité. La construction théorique et la critique épistémologique d'Einstein. Espace-temps, cinématique et dynamique. Caractérisation de l'objet de la théorie de la relativité restreinte. Pensée mathématique et pensée physique dans l'approche de la relativité générale par Einstein (pensée des concepts physiques, statut et rôle des principes, conditions de la formalisation mathématique, rôle d'une pensée cosmologique, "principe de Mach" et covariance). La réception de la théorie de la relativité, 1919-1925, en France, au Brésil. Interprétations et débats philosophiques. Etudes comparatives sur les travaux de Poincaré et Einstein sur la relativité et l'électrodynamique en 1905.

G. *Les physiciens et le débat sur la physique quantique.*

Eléments d'histoire de la mécanique quantique jusqu'à l'argument EPR. Les contributions d'Einstein à l'élaboration de la mécanique quantique. La nature des objections d'Einstein à l'interprétation de la mécanique quantique. Séparabilité locale et déterminisme dans l'interprétation d'Einstein de la mécanique quantique. Einstein, les quanta et le réel (construction et critique théorique). Formalisme et interprétation physique chez Erwin Schrödinger. Physique quantique et causalité selon David Bohm. Le style d'Einstein dans ses travaux sur la physique quantique.

H. *Epistémologie de la physique subatomique*.

Particules et champs quantifiés. Symétries, principes, constructions théoriques. Aspects historiques de la constitution de ces domaines de la physique subatomique (nucléaire et des particules élémentaires) ; l'évolution récente de ce domaine. Remarques sur la cosmologie. Critique du «principe anthropique». Etude épistémologique des conceptions cosmologiques actuelles et des conditions de possibilité de la rencontre de la cosmologie et de la physique subatomique. Cosmologie et cours du telmps.

I. *L'intelligibilité du domaine quantique*.

Epistémologie de la physique quantique. Analyse conceptuelle de la non-séparabilité quantique. Examen de la notion d'indiscernabilité et de ses implications physiques et épistémologiques. Faits et principes pour la mécanique quantique. Ré-examen épistémologique du concept d'état quantique et de sa représentation théorique, sous l'angle de l'interprétation physique. Proposition d'extension de la notion de grandeur physique au-delà du purement numérique et du mesurable (pour la fonction d'état et les grandeurs dynamiques), et conséquences sur les termes du débat concernant la représentation et la réalité en physique quantique, notamment sur la signification des probabilités en physique quantique, et sur le rapport des domaines classique et quantique et de leurs descriptions. Problème de la mesure ; la cohérence quantique et la décohérence, et leurs implications conceptuelles. Entraînement de la pensée physique par les formes mathématiques. L'espace vu du monde quantique. Indication d'une nouvelle intelligibilité possible du domaine quantique tel qu'il est actuellement connu, théoriquement et expérimentalement. Cette manière de voir, qui simplifie et banalise les aspects philosophiques de l'interprétation, est proposée comme permettant de comprendre la portée réelle des changements survenus avec la physique quantique. La réflexion qui la fonde a partie liée à celle menée de manière plus générale sur la signification de la notion de grandeur physique (cf. les thèmes H et I).

J. *Evolution et signification des concepts physiques. Matière et concepts*.

Historicité et rationalité des théories et des concepts scientifiques, en physique (conditions épistémologiques et circonstances historiques des constructions théoriques et contenus conceptuels). Etudes sur des élaborations et des transformations de concepts : les trois stades du principe de relativité ; l'espace et l'espace-temps ; le concept de temps, sa construction en fonction des phénomènes, la causalité et l'irréversibilité ; le concept de vide et ses transformations (le vide matériel) ; le concept de masse ; réflexion sur la question des origines en cosmologie et dans les sciences de la vie.

K. *Mathématisation et prédictivité en physique*.

La mathématisation des théories et des concepts de la physique. Mathématisation et accord avec l'expérience. Interprétation et construction dans le rapport des mathématiques et de la physique. La nature des modèles. Le statut de l'expérience

en physique ; mesure, expérience et objet théorique. Prédicat d'existence et prédictivité d'un objet théorique en physique. La notion de complétude théorique. Réalité et probabilité. La notion de grandeur et la légitimité de la mathématisation en physique. La notion de grandeur physique et les systèmes dynamiques. Causalité, déterminisme et nécessité en physique.

L. *Pensée scientifique et signification* (problèmes de philosophie des sciences).

Matérialisme et abstraction : la question de l'appropriation de la connaissance scientifique. Philosophie et physique. Aspects physiques et philosophiques de l'interprétation en physique. La théorie et son objet. Rapports entre formalisme théorique et contenu physique. Structure et changement : rapport entre le caractère structurel des théories formalisées et leur évolution historique. Problème de la « réalité physique » et de la référence de la signification des propositions théoriques (l'« endoréférence » ou l'*a priori* construit et modifiable). Rationalité et signification dans les sciences exactes. Matière et nécessité : représentation et immanence. Opérations épistémiques et épistémologie formelle ou formalisée. Problèmes de la rationalité des mathématiques et des sciences formalisées : fondements logiques, ou rationnels ? ; des fondements « vers l'avant ». Les mathématiques et le langage de la raison. Conditions de possibilité des changements dans la connaissance objective : la formation de nouvelles intelligibilités ; l'empirique, le rationnel et l'intelligible ; les formes du rationnel et leurs transformations. Le concept d'« émergence » : niveaux d'organisation et de compréhension. Nouveauté et émergence dans la quête des fondements.

M. *La connaissance scietifique comme pensée symbolique. Philosophie de la création scientifique. La fonction de rationalité.*

La connaissance scientifique comme pensée symbolique. 1. Un choix de point de vue (la connaissance scientifique comme formes symboliques). - 2. Nature, possibilité et modalités de la connaissance : La raison, les sens, l'abstraction, les symboles. - 3. Le symbolique et le rationnel - 4. Sujet transcendantal et connaissance objective. Une tension dynamique. - 5. L'intelligibilité comme appropriation rationnelle. (Catégories et principes de la connaissance ; la construction des concepts ; rapport entre la dimension rationnelle et les autres propriétés ou fonctions de la pensée ; le rôle de la volonté ; aspects de l'« intuition intellectuelle » comme perception synthétique par l'entendement). - 6. Historicité : La connaissance scientifique comme un fait d'histoire (Signification des connaissances et leurs transformations ; les savoirs scientifiques et les cultures ; nouvelles questions de style : réflexivité de la connaissance (styles scientifiques et styles en histoire des sciences). - 7. Le rapport au monde. (Caractère indirect mais effectif de la prise de la pensée sur le monde (production de phénomènes, interventions dans l'ordre des choses). - 8. La place des valeurs dans la connaissance.

Philosophie de la création scientifique. 1. Introduction.- 2. La question d'une philosophie des fondements rationnels.- 3. La question d'une philosophie de la création scientifique.- 4. La science comme pensée symbolique et conceptuelle (rappels et remarques spécifiques). - 5. Sujet transcendantal et connaissance

objective. - 6. Travail de la pensée et fonction de rationalité.- 7. Les allers et retours du sens commun. - 8. Structure et changement.- 9. Nouveauté et émergence, genèse, vues dans la perspective de la création scientifique.- 10. Conditions de possibilité de la création rationnelle (Les élargissements de la rationalité).

La fonction de rationalité. 1. Introduction. Raison humaine et formes de rationalité.- 2. Fonction de rationalité et systèmes de connaissances (Rationalité scientifique et rationalité technique : fonction, formes et structure. Rationalités comparées dans les systèmes de connaissance de diverses cultures). - 3. La raison comme disposition humaine et le monde.- 4. Raison et comportement : de la biologie à la culture. – 5. Aspects cognitifs de l'acquisition de rationalité.- 6. Conscience et rationalité (Emergence de la rationalité abstraite et retour réflexif ; le problème des valeurs).- 7. La dimension sociale du rationnel : éducation et vie en société.- 8 et 9. Genèse et exercice du rationnel : approches anthropologiques (Les outils et l'hominisation ; le rationnel dans les sociétés sans histoire écrite). - 10. La raison et les mythes. - 11. Sociologie et épistémologie (L'apport de la notion de champ intellectuel, esthétique, scientifique, etc. ; contre la dissolution du rationnel : critique du relativisme social). - 12. Dynamique du rationnel (la diversité des formes et l'unité de la fonction du rationnel ; l'exigence d'intelligibilité et le mouvement conjoint de la connaissance et de ses conditions de possibilité ; la raison dans l'histoire ; raison et pénétration du monde ; la fonction dynamique du rationnel dans la production et dans l'appropriation des connaissances ; portée cosmologique des élargissements du rationnel : évolution et création).

N. *Traditions et transmission des connaissances scientifiques*.

Styles et traditions scientifiques. Transmission et transformation de connaissances en rapport à la question de l'intelligibilité, dans le temps historique et dans l'espace géographique des cultures. Sur l'histoire des sciences en Amérique latine. L'implantation de la physique mathématique et théorique au Brésil. La réception de la relativité au Brésil et l'influence des sciences européennes.

O. *Universalité, rationalité, vérité : questions de la philosophie et de l'histoire sur la science*.

Rapports entre science, philosophie, histoire des sciences, histoire, sociologie. Les sciences et l'histoire des sciences comme champs de problèmes philosophiques. Champ scientifique et réflexivité. Histoire et histoire des sciences (méthodologies, objets, problématiques). Intelligibilité et historicité (science, rationalité, histoire). La question de l'universalité de la science comme un point de rencontre entre la philosophie et l'histoire (l'idée d'universalité de la science à l'épreuve de l'histoire). Transmission et transformation de connaissances en rapport à la question de l'intelligibilité, dans le temps historique et dans l'espace géographique des cultures. Rationalités comparées des contenus mathématiques. Les vérités scientifiques et le sens commun. Objectivité et «construction d'objet» en physique. Le mythique et le rationnel dans les sciences contemporaines. L'histoire

comparative des sciences modernes et le contexte de dépendance. Les discours sur les races et la science. La science, cet obscur objet de la pensée et de l'utile. La science et les valeurs. La nature, la raison et les acquis de la culture et de l'histoire. La science et l'éthique. Science et démocratie. La responsabilité des scientifiques.

P. *Etudes critiques.*

PUBLICATIONS DE RECHERCHE EN PHILOSOPHIE, EPISTEMOLOGIE ET HISTOIRE DES SCIENCES :

5 livres et monographies parus, 8 à paraître ou en préparation ; 6 livres ou numéros spéciaux de revues « édités » parus, et 6 en préparation ; plus de 80 articles dans des revues à comité de lecture, et de 70 articles dans des ouvrages collectifs à comité de lecture. (Voir ci-dessous).

1.2.3. CONTRIBUTIONS DIVERSES.

Q. *Divulgation des connaissances.*

R. *Réflexions sur l'enseignement et la recherche en philosophie et histoire des sciences.*

S. *Réflexions sur les problèmes de science, société, politique et développement.*

T. *Autres textes (Arts et littérature)*

PUBLICATIONS SUR DES SUJETS DIVERS :

3 livres de divulgation, et édition de 2 livres sur des problèmes de science et société. A cela s'ajoutent une trentaine d'articles de divulgation, une quinzaine d'articles portant sur des problèmes de science et de société ou d'enseignement, et une cinquantaine d'articles encyclopédiques ou textes de synthèse. En outre : contribution à des émissions de radio et de télévision.

I. 3 ENSEIGNEMENTS

- Enseignement régulier au Master LOPHISS et à la Formation doctorale d'Epistémologie et histoire des sciences de l'Université Paris-7-Denis Diderot.

- Enseignements périodiques dans des universités brésiliennes (São Paulo, Rio de Janeiro, Salvador, Florianopolis) et colombiennes (Bogota, Cali, Medellin).

- Direction de thèses de doctorat en épistémologie et histoire des sciences à l'Université Paris-7 Denis Diderot. BILAN : une cinquantaine thèses de doctorat soutenues, dont 21 en *Physique* (15 thèses de 3 è cycle et 6 thèses d'Etat, de 1968 à 1982) et les autres en *Philosophie, Epistémologie et Histoire des sciences.*

4 ABSTRACT IN ENGLISH

Michel Paty (b. 1938 in Bordeaux) first sudied mathematics at graduate level and theoretical and experimental physics at 3rd cycle level at Bordeaux University, with a first thesis on cosmic particles prepared at the Laboratory of Particle Physics of the Collège de France, defended in oct. 1962, with André Lagarrigue and André Rousset as supervisors. Then he was appointed as a physicist at CERN (European Organisation for Nuclear research, Geneva), joining the neutrino physics programme, from 1962 to 1965. He defended his Ph. D. (Doctorat d'Etat), with a pionneer work on neutrino physics, at the University of Paris-Orsay in 1965, his supervisor being André Lagarrigue. He then went to Brazil, from mid 1965 to mid 1966, in the frame of a French-Brazilian cooperation programme and tought first at the National University of Brasilia (UNB), then at the Brazilian Center for Research in Physics (CBPF). Back to France, he worked from then on in particle physics (fundamental electromagnetic, weak and strong interactions, neutrino physics, quark structure of hadronic particles and charmed new particles) in the Strabourg Nuclear Research Center (CRN) of CNRS and Strasbourg-I Louis Pasteur University, up to 1983, as a research group leader, orienting some 20 Ph D these in Particle Physics. In the meantime, he got his graduation and master in philosophy and defended, in 1977, a doctorate thesis in philosophy on the thought and work of d'Alembert (the famous XVIII th century mathematician, physicist and encyclopedist). Since 1983, he shifted towards research in philosophy and history of science, founding with colleagues a research group (REHSEIS, of CNRS) and a new Doctorate programme in this matter at University of Paris 7-D. Diderot, which are now among the most active centers in France in the domain. He has published on these subjects a large number of articles anf several books, among which *La matière dérobée* (*Physical Concepts Steal Matter*), Paris 1988, on epistemology of quantum particle physics ; *Einstein philosophe* (*Einstein as a Philosopher*), Presses Universitaires de France, 1993, *Einstein les quanta et le réel* (*Einstein and the Quantum Reality*), to be published, and one on Poincaré's philosophy (to be published), as well as books of popularization (*Einstein*, *d'Alembert*). He is Directeur of research at the CNRS (National Centre for Scientific Reasearch) and was head of the "REHSEIS" Unit of Research on Epistemology and History of Science of CNRS and the University of Paris 7-Denis Diderot up to the end of 2000. He has also been for two years professor of philosophy at São Paulo University (Brasil, 1989-90). He has oriented some 20 these in philosophy and history of science, and is presently orienting 8. He maintains many international contacts, especially in Thirld World Countries. He has co-founded two International Journals in Philosophy of Science, *Fundamenta Scientiae* (1981-1990) and *Epistémologiques* (from 2000 on).

FORMATION, EXPERIENCE AND FUNCTIONS.

Formation : *scientific* (Licence ès-sciences mathématiques, Bordeaux, june 1959 ; Doctorate of Theoretical Corpuscular Physics, Bordeaux, oct. 1962 ; Doctorat d'Etat ès-Sciences physiques, Paris, april 1965) and *philosophical* (Licence and

Maîtrise in philosophy, Strasbourg, 1969, 1971 ; Doctorate in philosophy, Strasbourg, nov. 1977).

Experience : Research and university teaching in physics (1962-1983), in philosophy and history of science (from 1977 on). Direction of laboratory in physics (1966-1983), of research group in philosophy and history of science (1992-2000), co-direction and then membership of Doctoral and DEA (Diplôme of Advanced Studies) Programme at University of Paris 7-Denis Diderot (1985-). Member of the Comité National of CNRS (President of a section, 1980-1983).

Main Functions

Directeur de recherche at CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) in Philosophy, Epistemology and History of Science.

Director of the reasearch group Equipe REHSEIS (Recherches Epistémologiques et Historiques sur les Sciences Exactes et les Institutions Scientifiques, UMR 7596), CNRS and Université Paris 7-Denis Diderot (1992-2000). (Has founded this research team with Roshdi Rashed and Christian Houzel, in 1983. Acted as Adjoint Director from 1983 to 1992).

Member of the Directory Board of the Formation doctorale en Epistémologie et Histoire des Sciences, Université Paris-7 Denis Diderot (since 1985). (Has founded this Doctoral Formation with Roshdi Rashed and Christian Houzel and others, in 1985, and has been responsible of it for Univ. Paris 7 from 1985 to 1992).

Co-editor of the international Journals *Fundamenta Scientiae* (ULP-Strasbourg/ Pergamon-Oxford, then Nova Stella-São Paulo, 1980-1989) and *Epistémologiques, Philosophie*, *Sciences, Histoire*. *Philosophy, science, history* (EDP-Sciences, Paris, and Discurso Editorial-São Paulo, 2000-).

Member of various scientific committees of scientific Institutions and Journals.

MAIN RESEARCH THEMES IN PHILOSOPHY, EPISTEMOLOGY, HISTORY OF SCIENCE :

1. - Physics, mathematics and philosophy in the classical period (Mainly XVIII th century and d'Alembert : the mathematization of physics through principles and analysis or differential calculus, the inheritance of merging traditions - Descartes, Leibniz, Newton - ; a new status of the relations between science and philosophy, and the relative autonomy of an “epistemology” before the word).

2. - Scientific work and philosophical thought (Physics and geometry ; the XIXth and XXth centuries philosopher-scientists, Mach and Duhem about mathematics and physical knowledge and theory ; Poincaré : geometry, physiques and conventionalism ; Langevin : a penetrating view on the concepts of contemporary physics, relativity and quanta ; Einstein on relativity, on quanta, on philosophy…).

3. - Historicity and rationality of scientific theories and concepts, in physics (The relativity principle and its three stages ; physical principles and conservation laws ; the concepts of space and its three dimensions ; the introduction and

elaborations of time as a dynamical variable, as instantaneous, as given by the phenomena ; space-time ; velocity ; field ; mass ; vacuum, …).

4.- Mathematization and predictivity in physics (The adequation between mathematics and physics ; the structure and contents of physical theories and their evolution ; a historico-critical analysis of the concept of « physical magnitude »).

5. - Epistemology of physics, subatomic physics and of contemporary cosmology.

6. - Epistemology and history of the theory of relativity (Historical backgrounds and XIX th century optics ; comparative study of Lorentz', Poincaré' and Einstein's respective works ; philosophical issues on interpretation and on invention ; receptions and contexts : assimilations and transformations, reception and the scientific communities - the cases of France, Brasil,…)…

7. - Epistemology of quantum physics (Considerations on the building of the quantum theory as related with scientific styles and epistemological programmes : Einstein, Schrödinger, etc.) ; the issues at stake in the interpretation debate on Quantum Mechanics : analysis of quantum non local separability ; probability and quantum state ; the classical and the quantum connection ; problems of measurement and of decoherence. Re-evaluating the quantum epistemological debate by situating the respective philosophical and physical stakes and through an analysis of the meaning of the notion of « physical quantity » or « magnitude » in quantum theory).

8. - Scientific thought and signification (The reference of the meaning of theoretical statements ; the empirical, the rational and the intelligible ; forward fondations for scientific knowledge ; the conditions of possibilities of changes in objective knowledge, and the forms of rationality ; etc.).

9. - Philosophy of scientific creation (epistemological issues : the meaning of « novelty », the role and meaning of « intuition », relation with aesthetics…).

10 - Universality, rationality, truth : questions from philosophy and history about science.

I. 5 BIBLIOGRAPHIE SELECTIVE

OUVRAGES

- *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. ; également, *CERN 65-12*, Publications du CERN, Genève, 1965, 117 p. + fig. R

- *Théorie et pratique de la connaissance chez Jean d'Alembert*, Thèse de doctorat en philosophie, Université des Sciences Humaines, Strasbourg-2, 1977, dactyl., 468p. R

- *L'étrange histoire des quanta* (en collab. avec Banesh Hoffman), Seuil, Paris, 1981 ; n^{lle} éd. augm., 1992. D

- *La matière dérobée. L'appropriation critique de l'objet de la physique*

contemporaine, Préface de Ludovico Geymonat, Ed. des Archives contemporaines, Paris, 1988, xx + 442 p. R

- (Trad. en portug. (Br.) :) *A materia roubada. A apropriação crítica do objeto da física* contemporânea (Trad. por Mary Amazonas Leite de Barros), EDUSP, São Paulo, 1995, 324 p.

- *L'analyse critique des sciences, ou le tétraèdre épistémologique (sciences, philosophie, épistémologie, histoire des sciences)*, L'Harmattan, Paris, 1990, 222 p. RG

- *Einstein philosophe. La physique comme pratique philosophique*, Collection « Philosophie d'aujourd'hui », Presses Universitaires de France, Paris, 1993, 584 p. R

- *Albert Einstein, ou la création scientifique du monde*, Collection « Figures du savoir », Belles Lettres, Paris, 1997, 156 p ; 2e tirage, 2004. D

- (Trad. en portug. (Br.) :) - [2008b]. *Einstein, ou A criação científica do mundo*, trad. em portug. (Brasil) por Mário Laranjeira, revis. técn. e cientif. por Maria Aparecida Corrêa, Estação Liberdade, São Paulo (SP, Brasil), 2007, p.

- *D'Alembert ou la raison physico-mathématique au siècle des Lumières*, Collection « Figures du savoir », Belles Lettres, Paris, 1998, 207 p ; 2e tirage, 2004. D

- (Trad. en portug. (Br.) :) - [2005a]. *D'Alembert, a razão físico-matemática no século das luzes*, trad. portug. por Flávia Nascimento, revisada por José Oscar Marques, Prefácio à edição brasileira pelo autor, Estação Liberdade, São Paulo (SP, Brasil), 2005, 222 p.

- *La physique du XXe siècle*, Collection « Sciences et histoires », EDP-Sciences, Paris, 2003, 310 p. D

- (Trad. en portug. (Br.) :) - [2008a]. *A Física do século XX*, trad. portug. por Irineia L Batista, Mauricio Carvalho, Maria Aparecida Corrêa, Lucio Costa, Olival Freire, Claudemir Roque Tossato, revisão por Pablo Mariconda, Ideias e Letras, São Paulo (Br.), 2008, sous presse.

- *Matière et concepts. Rationalité et historicité des contenus conceptuels en physique*, Collection « Penser avec les sciences », EDP-Sciences, Paris, à paraître. R

- *Einstein, les quanta et le réel (Critique et construction théorique)*, à paraître. R

- *Einstein et Spinoza et autres essais sur Einstein*, à paraître. R

- *L'Intelligibilité du monde quantique*, à paraître. R

- *The Intelligibility of the Quantum World*, trad. angl par l'auteur, à paraître. R

- *Pensée scientifique et significations*, à paraître. R

- *Mathématisation et prédictivité*, à paraître. R

- *L'objet de la Relativité restreinte, invention et réception. Un problème d'épistémologie et d'histoire des sciences*, à paraître. R

OUVRAGES EN PREPARATION

- *La Raison créatrice et le problème des fondements de la connaissance*, en préparation. R

- *Retour à d'Alembert*, en préparation. R

- *Empirisme et convention. Géométrie, physique et philosophie chez Henri Poincaré*, en préparation. R.

- *Henri Poincaré. L'éclair de la pensée*, en préparation, Coll. « Figures du savoir », Belles Lettres, Paris, en préparation. D

- *Universalité et vérité. Science, philosophie et histoire.*

EDITION D'OUVRAGES

- *Quantum mechanics, a half century later* (éd. en collab. avec José Leite Lopes), Series « Episteme », Reidel, Dordrecht, 1977, x + 310 p. R

- *Les particules et l'Univers. La rencontre de la physique des particules, de l'astrophysique et de la cosmologie* (éd. en collab. avec Jean Audouze et Paul Musset), Presses Universitaires de France, Paris, 1990, 396 p. R, D

- A *ciência nas relações Brasil-França (1850-1950)* (éd. en collab. avec Amelia Imperio Hamburger, Maria Amelia Dantes et Patrick Petitjean), Coleção « Seminários », EDUSP, São Paulo, 1996, 366 p. R

- *Le droit à l'énergie. Penser le XXIè siècle* (éd. en collab. avec Emile Malet), Editions Passages, Paris, 1996, 224 p. G

- *Aux frontières de la science* (éd. en collab. avec Emile Malet), Editions Passages, Paris, 1999, 222 p. G

- *Analyse et dynamique. Etudes sur l'œuvre de d'Alembert* (éd. en collab. avec Alain Michel), Collection « Septentrion », Presses de l'Université Laval, Québec, 2002, 316 p. R

- *Paul Langevin, son oeuvre et sa pensée. Science et engagement* (éd. en collab. avec Bernadette Bensaude-Vincent, Martha-Cecilia Bustamante, Olival Freire), numéro spécial de la revue *Epistémologiques (Philosophie, sciences, histoire. - Philosophy, science, history*), 2, n°1-2, 2002, 256 p. R

- *Formación de Cultura Científica en Colombia. Ensayos sobre Matemáticas y Física* (éd. en collab. avec Luis Carlos Arboleda), Instituto de Educación y Pedagogia, Universidad del Valle, Cali (Colombia), 2004, 152 p.

- *Changes in interpretation and conceptual contents. Changements dans l'interprétation et contenus conceptuel. Symposium* (éd., en collab. avec Claude Debru), in series « Saldaña, Juan José (ed.), *Science and Cultural Diversity. Proceedings of the XXIst International Congress of History of Science* (Mexico, 2001) », Universidad Autónoma de México & Sociedad Mexicana de Historia de

la Ciencia y de la Tecnologia, CD-Rom, México, 2005, vol. 37, 230 p. (p. 2626-2851).

- *Chaos et Systèmes dynamiques. Eléments pour une épistémologie* (éd. en collab. avec Sara Franceschelli et Tatiana Roque), Collection « Visions des sciences », Hermann, Paris, 2007, 396 p.

- *Lumière et mouvement. L'extension du principe de relativité à l'optique* (éd.). [à paraître].

CHOIX D'ARTICLES DE RECHERCHE (en épistémologie et histoire des siences) :

- 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.

- La physique et le réel, exposé et débat avec Bernard D'Espagnat, *Bulletin de la Société Française de Philosophie*, 74 è année, n° 1, janv. mars 1980, 1-42.

- La position de d'Alembert par rapport au matérialisme, *Revue philosophique* (Paris) 171 (106è année), 1981, n° 1, 49-66.

- La notion de programme épistémologique et la physique contemporaine, *Fundamenta scientiae* 3, 1982, 321-336.

- La critique rationaliste de l'idée de création au 18 ème siècle, *Dialectica* (Bienne/Bien) 37, 1983, 185-200.

- Mathématisation et accord avec l'expérience, *Fundamenta scientiae* 5, 1984, 31-50.

- Einstein and Spinoza, *in* Grene Marjorie and Nails, Debra (eds), *Spinoza and the sciences*, Reidel, Dordrecht, 1986, p. 267-302.

- La non-séparabilité locale et l'objet de la théorie physique, *Fundamenta Scientiae* 7, 1986, 47-87.

- Mach et Duhem : l'épistémologie de savants-philosophes, *Manuscrito* (Campinas), 9, 1986 (n° 1, abril), 11-49. Egalement *in* Bloch, Olivier (dir.), *Epistémologie et matérialisme*, Klinsieck, Paris, 1986, p. 177-217.

- The scientific reception of Relativity in France, *in* Glick, Thomas (ed.), *The Comparative reception of relativity*, Reidel, Dordrecht, 1987, p. 113-167.

- Einstein et la pensée de Newton, *La Pensée*, n° 259, 1987, 17-37.

- D'Alembert et les probabilités, *in* Rashed, Roshdi (éd.), *Sciences à l'époque de la Révolution française. Recherches historiques*, Blanchard, Paris, 1988, p. 203-265.

- Reality and Probability in Mario Bunge's *Treatise*, *in* Dorn, Georg & Weingartner, Paul (eds.), *Studies on Mario Bunge's Treatise*, Poznan studies in the philosophy of the sciences and humanities, Rodopi, Amsterdam-Atlanta, 1990, p. 301-322.

- Les débuts de la physique mathématique et théorique au Brésil et l'influence de

la tradition française, *in* Petitjean, Patrick ; Jami, Catherine & Moulin, Anne-Marie (eds.), *Science and Empire. Historical studies about scientific development and european expansion*, Kluwer, Dordrecht, 1992, p. 173-191.

- L'endoréférence d'une science formalisée de la nature, *in* Dilworth, Craig (ed.), *Intelligibility in science*, Rodopi, Amsterdam, 1992, p. 73-110. (Trad. en portugais.)

- Physical Geometry and Special Relativity : Einstein and Poincaré *in* Boi, Luciano, Flament, Dominique et Salanski, Jean-Michel (eds.), *1830-1930 : A century of geometry. Epistemology, history and mathematics*, Springer-Verlag, Berlin, 1992, p. 126-149.

- L'histoire des sciences en Amérique latine, *La Pensée,* n° 288-289, 1992, 21-45.

- La question du statut de l'expérience en physique, *Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences*, n° 40, 1992, 183-197.

- Sur les variables cachées de la mécanique quantique : Albert Einstein, David Bohm et Louis de Broglie, *La Pensée*, n°292, mars-avril 1993, 93-116.

- Formalisme et interprétation physique chez Schrödinger, *in* Bitbol, Michel et Darrigol, Olivier (éds.), *Erwin Schrödinger. Philosophy and the birth of quantum mechanics. Philosophie et naissance de la mécanique quantique*, Editions Frontières, Paris, 1993, p. 161-190.

- Mesure, expérience et objet théorique en physique, *in* Beaune, Jean-Claude (éd.), *La mesure, instruments et philosophies*, Champ Vallon, Seyssel (01), 1994, p. 159-174.

- Le caractère historique de l'adéquation des mathématiques à la physique, *in* Garma, Santiago ; Flament, Dominique ; Navarro, Victor (éds.), *Contra los titanes de la rutina.- Contre les titans de la routine*, Comunidad de Madrid/C.S.I.C., Madrid, 1994, p. 401-428.

- Sur l'histoire du problème du temps : le temps physique et les phénomènes, *in* Klein, Etienne et Spiro, Michel (éds.), *Le temps et sa flèche*, Editions Frontières, Gif-sur-Yvette, 1994, p. 21-58 ; 2è éd., 1995 ; Collection Champs, Flammarion, Paris, 1996, p. 21-58.

- The nature of Einstein's objections to the Copenhagen interpretation of quantum mechanics, *Foundations of physics* 25, 1995, n°1 (january), 183-204.

- Poincaré et le principe de relativité, *in* Greffe, Jean-Louis ; Heinzmann, Gerhard & Lorenz, Kuno (éds.), *Henri Poincaré. Science et philosophie. Science and philosophy. Wissenschaft und Philosophie. Congrès international, Nancy, France, 14-18 mai 1994*, Akademie Verlag, Berlin/Albert Blanchard, Paris, 1996, p. 101-143.

- Le style d'Einstein, la nature du travail scientifique et le problème de la découverte, *Revue philosophique de Louvain*, 94, 1996 (n°3, août), 447-470. R

- Vingt cinq années d'évolution de la physique nucléaire et des particules (en collab. avec René Bimbot), *in* Yoccoz, Jean (éd.), *Physique subatomique : 25 ans de recherche à l'IN2P3, la science, les structures, les hommes*, Editions

Frontières, Gif-sur-Yvette, 1996, p. 12-99.

- A recepção da Relatividade no Brasil e a influença das tradições científicas europeias, trad. en portugais par Ana de Alencar Alves, *in* Hamburger, Amelia Imperio ; Dantes, Maria Amelia; Paty, Michel & Petitjean, Patrick (eds.), A *ciência nas relações Brasil-França.(1850-1950),* EDUSP, São Paulo, 1996, p. 143-181. (Original en français :) La réception de la Relativité au Brésil et l'influence des traditions scientifiques européennes, *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, 49, 1999, n° 143, 331-368.

- Predicate of existence and predictivity for a theoretical object in physics, *in* Agazzi, Evandro (ed.), *Realism and quantum physics*, Rodopi, Amsterdam, 1997, p. 97-130.

- Le vide matériel, ou : La matière crée l'espace, *in* Diner, Simon & Gunzig, Edgar (éds.), *Le Vide. Univers du tout et du rien*, Editions de l'Université de Bruxelles, Bruxelles, 1998, p. 22-44.

- Les trois dimensions de l'espace et les quatre dimensions de l'espace-temps, *in* Flament, Dominique (éd.), *Dimension, dimensions I*, Série Documents de travail, Fondation Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 1998, p. 87-112.

- Universality of Science : Historical Validation of a Philosophical Idea, as Chapter 12, *in* Habib, S. Irfan and Raina, Dhruv (eds.), *Situating the history of science : Dialogues with Joseph Needham*, Oxford University Press (New Delhi), 1998, p. 303-324. (Trad. en angl. par l'auteur). (Original en français :) L'universalité de la science. Une idée philosophique à l'épreuve de l'histoire, *Mâat. Revue Africaine de Philosophie*, 1ère année, n° 1, avril 1999, 1-26.

- Comparative history of modern sciences and the context of dependency (Engl. transl. from French by Nicholas Flay), *Science, Technology and Society* (Sage Editions, New Delhi), 4, 2, 1999, 171-204. (Original en français :) L'histoire comparative des sciences modernes et le contexte de dépendance, *Convergencia. Revista de Ciencias Sociales* (México), Año 8, núm. 24, enero-abril 2001, 11-48.

- Are quantum systems physical objects with physical properties ?, *European Journal of Physics*, 10, 1999 (november), 373-388. (Special issue on *Unsolved problems of physics*). R

- Les trois stades du principe de relativité, *Revue des questions scientifiques* (Namur, Be), 170 (2), 1999, 101-148. Repris dans : *Les Relativités*, numéro spécial de la *Revue des questions scientifiques* (Namur, Be), 2000, 103-150. R

- La création scientifique selon Poincaré et Einstein, *in* Serfati, Michel (éd.), *La recherche de la vérité*, Coll. « L'Ecriture des Mathématiques », ACL-Editions du Kangourou, Paris, 1999, p. 241-280. (Trad. en portugais).

- Opérations épistémiques et épistémologie formelle. Contribution à l'étude des opérations épistémiques dans les théories scientifiques, *Principia* (Florianopolis, Br.), 3, 1999 (n°2, dezembro), 209-240. (Version en anglais, légèrement. modifiée :) Epistemic operations and formal epistemology. Contribution to the study of epistemic operations in scientific theories, as chap. 4 *in* Mugur-Schächter, Mioara and van der Merwe, Alwyn (eds.), *Quantum mechanics,*

Mathematics, Cognition and Action. Proposals for a Formalized Epistemology, Coll. « Fundamental Theories of Physics », Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002, p. 37-71. R

- Interprétations et significations en physique quantique, *Revue Internationale de Philosophie*, n°212, 2 (juin) 2000, 199-242. R

- The quantum and the classical domains as provisional parallel coexistents, *Synthese* (Kluwer, Dordrecht/Boston), 125, n°1-2, oct.-nov. 2000, 179-200 (*in* French, Steven ; Krause, Décio ; Doria, Francisco (eds.), *In honour of Newton da Costa, on the occasion of his seventieth birthday*). R

- Einstein et la pensée de la matière, *in* Monnoyeur, Françoise (éd.), *La matière des physiciens et des chimistes*, Hachette-Livre de Poche, Paris, 2000, p. 213-252. R

- Cosmologie et matière quantique, *Epistémologiques (Philosophie, sciences, histoire. Philosophy, science, history*, Paris, São Paulo), 1 (n°1-2, janvier-juin), 2000, 219-249 (*in* Seidengart, Jean et Sczeciniarz, Jean-Jacques (éds.), *Cosmologie et philosophie. Hommage à Jacques Merleau-Ponty*, numéro spécial).R

- D'Alembert, la science newtonienne et l'héritage cartésien, *Corpus. Revue de philosophie* (Paris), n° 38, 2001, 19-64 (*in* Markovitz, Francine et Szczeciniarz, Jean-Jacques, éds., *D'Alembert*). R

- Intelligibilité et historicité (science, rationalité, histoire), *in* Saldaña, Juan José (ed.), *Science and Cultural Diversity. Filling a Gap in the History of Science*, Cadernos de Quipu 5, México, 2001, p. 59-95. R

- La notion de grandeur et la légitimité de la mathématisation en physique, *in* Espinoza, Miguel (éd.), *De la science à la philosophie. Hommage à Jean Largeault*, L'Harmattan, Paris, 2001, p. 247-286. (Version en anglais :) The idea of quantity at the origin of the legitimacy of mathematization in physics, *in* Gould, Carol (ed.), *Constructivism and Practice : Towards a Historical Epistemology*, Rowman & Littlefield, Lanham (Md., USA), 2003, p. 109-135. R

- Physical quantum states and the meaning of probability, *in* Suppes, Patrick ; Galavotti, Maria Carla, and Costantini, Domenico (eds.), *Stochastic Causality*, CSLI Publications, Stanford (distrib. Cambridge University Press), 2001, p. 235-255. R

- Les concepts de la physique : contenus rationnels et constructions dans l'histoire, *Principia* (Florianopolis, Br), 5, n°1-2, junho-dezembro 2001, 209-240. (Trad. en anglais :) The concepts of physics : rational contents and constructions in history, *in* Margolis, Joseph and Rockmore, Tom (eds.), forthcoming. R

- Une métaphysique du mouvement au temps de d'Alembert. La théorie physique du monde du Chevalier François de Vivens, *in* Kölving Ulla et Passeron, Irène (éds.), *Science, musiques, Lumieres. Mélanges offerts à Anne-Marie Chouillet*, Centre International d'Etude du XVIII è siècle, Ferney-Voltaire (F), 2002, p. 59-81.R

- La physique quantique, ou l'entraînement de la pensée physique par les formes

mathématiques, *in* Mataix, Carmen y Rivadulla, Andrés (eds.), *Física cuántica y realidad. Quantum physics and reality*, Editorial Complutense, Madrid, 2002, p. 97-134.

- Poincaré, Langevin et Einstein, *Epistémologiques (Philosophie, sciences, histoire. Philosophy, science, history*, Paris, São Paulo) 2, n°1-2, 2002, 33-73. (*In* Bensaude, Bernadette ; Bustamante, Martha-Cecilia ; Freire, Olival & Paty, Michel (éds.), *Paul Langevin, son œuvre et sa pensée*).

- Campus sitiado. Le campus en état de siège. Scènes d'une saison à Brasília, juillet-décembre 1965, *in* Aldrovandi, Ruben ; Santoro, Alberto & Gago, José Mariano (eds.), *Roberto Salmeron Festschrift*; *A Master and a Friend*, AIAFEX, Rio de Janeiro (Br), 2003, p. 257-302.

- The concept of quantum state : new views on old phenomena, *in* Ashtekar, Abhay ; Cohen, Robert S.; Howard, Don ; Renn, Jürgen ; Sarkar, Sahotra & Shimony, Abner (eds.), *Revisiting the Foundations of Relativistic Physics : Festschrift in Honor of John Stachel*, Boston Studies in the Philosophy and History of Science, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003, p. 451-478. (Version en français :) Le concept d'état quantique : un nouveau regard sur d'anciens phénomènes, inédit. R

- A ciência e as idas e voltas do senso commun, Traduzido do original em francês por Maria Aparecida Corrêa-Paty, *Scientiæ Studia* (São Paulo, Br), 1, n°1, 2003, jan.-mar., 9-26. (Egalement :) *in* Kreinz, Glória & Pavan, Crodowaldo (orgs.), *Congresso Internacional de Divulgação Científica. Etica e Divulgação Científica : Os Desafios no Novo Século. Anais*, Coleção « *Divulgação Científica* », NJR, ECA/USP, São Paulo, 2004, p. 175-183. [Original en français]. La science et les aller-retours du sens commun. R

- La notion de déterminisme en physique et ses limites, *in* Debru, Claude et Viennot, Laurence (éds.), *Enquête sur le concept de causalité*, Collection « Sciences, histoire et société », Presses Universitaires de France, Paris, 2003, p. 85-114. (Trad. en port.). R

- Μνθικο και ορθολογικο στοιχειο στιζ « οριακεζ ζθεωριεζ » τηζ σνγχρονησ επιστημησ, *Ογτοπια* (*Utopia*, Athènes, Grèce), n° 55, Μαιοσ–Ιονιοσ 2003, 75-104. (Original en français : Le mythique et le rationnel dans les « théories limites » de la science contemporaine, version longue, traduit en grec par Eftichios Bitsakis). (Oriiginal en français, version courte :) Le mythique et le rationnel dans les « théories limites » de la science contemporaine, *Raison Présente*, n°, 4è trim. 2003. R

- Jacques Merleau-Ponty (1916-2002) : le regard d'un philosophe sur la cosmologie contemporaine (en collab. avec Jean-Jacques Szczeciniarz), *in* Merleau-Ponty, Jacques, *Sur la science cosmologique. Conditions de possibilité et problèmes philosophiques*, Textes organisés et présentés par Michel Paty et Jean-Jacques Szczeciniarz, Collection « Penser avec les sciences », EDP-Sciences, Paris, 2003, p. 21-33. R

- Remarks about a « general science of reasoning », *in* Stadler, Friedrich (eds.), *Induction and deduction in the sciences.Vienna Circle Institute Yearbook*, Kluwer, Dordrecht, 2004, p.185-193. R

- Genèse de la causalité physique, *Revue Philosophique de Louvain* (Louvain, Be), 102, n°3, août 2004, 417-446. (Trad. en portug. :) [2004e].

- L'élément différentiel de temps et la causalité physique dans la dynamique de Alembert, *in* Morelon, Régis & Hasnawi, Ahmad (éds.), *De Zénon d'Elée à Poincaré. Recueil d'études en hommage à Roshdi Rashed*, Editions Peeters, Louvain (Be), 2004, p. 391-426. (Trad. en portug. :) [2004g].

- Matière et nécessité dans la connaissance scientifique, *in* Dubessy, Jean ; Lecointre, Guillaume & Silberstein, Marc (éds.), *Les matérialistes (et leurs détracteurs)*, Syllepses, Paris, 2004, p. 155-180. (Bibliogr. fondue dans celle du livre). (Trad. en portug.).

- Nouveauté et émergence dans la quête des fondements, *Principia, Revista de Epistemologia* (UFSC, Florianopolis, SC, Brésil), 8, 2004, n°1, 19-54.

- The question of rationality in front of the diversity of knowledge practices, in D'Ambrosio, Ubiratan (ed.), *Cultural Diversity: New Perspectives in the History of Science*s, *in* Saldaña, Juan José (ed.), *Science and Cultural Diversity. Proceedings of the XXI*st *International Congress of History of Science* (Mexico, 2001), Universidad Autónoma de México & Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y de la Tecnologia, CD-Rom, México, 2005, vol. 42, p. 3261-3281.
- Pensée rationnelle et création scientifique chez Poincaré, *Colloque Henri Poincaré « Science et pensées »*, lundi 17 janvier 2005, CD-Rom Fondation Sophia-Antipolis, 2005, 19 p.
- Einstein 1905 : La théorie de la relativité restreinte comme création scientifique, *Cahiers rationalistes*, 2005. n°579, novembre-décembre 2005, 6-16 ; n°580, janvier-février 2006, 6-18.
- « Prolegómena otn meletn tvn oceow nanames aothe episthmh kai thnkoinwnia », *Mandragóras*, Athènes, n° 34, octobre 2005), 78-82. (Offert en hommage à Eftichios Bitsakis). (Original en français :) Prolégomènes à l'étude des rapports entre science et société, *Raison Présente*, n°161, 1er trimestre 2007, 113-124.

- A reflexividade da ciência e o Brasil. A guise de agradecimento. *in* Pietrocola, Mauricio & Freire, Olival (eds.), *Filosofia, Ciência e História. Michel Paty e o Brasil, uma homenagem aos 40 anos de colaboração*), Discurso Editorial (São Paulo, Br), 2005, p. 491-506. G

- Des Fondements vers l'avant. Sur la rationalité des mathématiques et des sciences formalisées, *Philosophia Scientiæ* (Univ. Nancy 2/Kimé, Paris), 9 (2), 2005, 109-130.
- O Estílo científico de Einstein na exploração do domínio quântico, *Scientiae Studia* (*Revista Latino-Americana de Filosofia e História da Ciência*, Sao Paulo, Br.), vol. 3, n°4, out.-dez., 2005, 597-619. (Original en anglais :) Einstein's scientific style in the exploration of the quantum domain (a view on the relationship between theory and its object), *Symposium « Einstein in Context » (Section « Einstein and the quantum revolution »), International Congress of*

History of Science, Beijing, july 2005.

- Introdução a tres textos de Einstein sobre a geometria, a teoria física e a experiência, *Scientiae Studia* (*Revista Latino-Americana de Filosofia e História da Ciência*, Sao Paulo, Br.), vol. 3, n°4, out.-dez., 2005, 641-681. (Original en français :) Introduction à trois textes d'Einstein sur la géométrie, la théorie physique et l'expérience, inédit).

- Sobre o encontro casual de Norbert Wiener com Albert Einstein em uma viagem de trem (en collab. avec Olival Freire), *Scientiae Studia* (*Revista Latino-Americana de Filosofia e História da Ciência*, Sao Paulo, Br.), vol. 3, n°4, out.-dez., 2005, 621-639.
- Temas de una trayectoria, Entrevista recojida por Germán Pino Guerrero (Diciembre de 2005), *Praxis Filosófica* (Cali, Colombia), Nueva serie, n° 22, enero-junho 2006, 187-209.
- Einstein y el rol de las matematicas en la física, Trad en castellano por Susana Gomez G. y Maribel Anacona, revisada por Germán Guerrero, *Praxis Filosófica* (Cali, Colombia), Nueva serie, n° 22, enero-juño 2006, 5-27. (Original partiellement en français et en portugais). (Version en français :) [sous presse, e]. Einstein et le rôle des mathématiques en physique, inédit, à paraître. (Trad. en portugais.

- Champ continu et quanta : les deux approches théoriques de la matière selon Einstein. Le rapport de la théorie à son objet, *in* Bachta, Abdelkader (dir.), *La science einsteinienne : ses origines et son contenu*, Centre de Publication Universitaire, Tunis, 2007, p. 27-53. (*Actes du Colloque*, Tunis, déc. 2005). (Trad. en portugais :) [2005e].

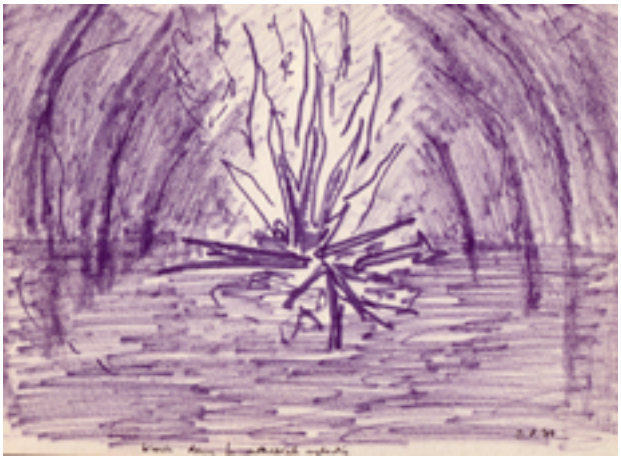
- La science et l'imaginaire, ou l'invitation aux voyages de Jules Verne, *Revue Jules Verne*, n°25, 2007, 1er semestre, 67-77.
- Rationalités comparées des contenus mathématiques. Sur les travaux de Roshdi Rashed, ou : La philosophie dans le champ de l'histoire des sciences, *Dogma. Revue des revues. Epistémologie* (Revue électronique, Paris), 36 p. (Contribution au *Colloque des Sciences Arabes*, *Damas (Syrie), 1-4 novembre 2002*.)
- La notion de grandeur physique et les systèmes dynamiques, *in* Franceschelli, Sara ; Paty, Michel & Roque, Tatiana (éds.), *Chaos et Systèmes Dynamiques. Eléments pour une Epistémologie des Systèmes Dynamiques* (éd., en collab. avec Collection « Visions des sciences », Hermann, Paris, 2007, p. 240-266.

- Du style en histoire des sciences, *Colloque « Quelle histoire font les historiens des sciences et des techniques?* », Lille, 23-25 mai 2007, Actes,

- Les analogies mathématiques au sens de Poincaré et leur fonction en physique, *in* Durand-Richard, Marie-José (éd.*), Le statut de l'analogie dans la démarche scientifique*, L'Harmattan, Paris, 2008.
- La connaissance scientifique comme pensée symbolique. Quelques implications philosophiques et épistémologiques de ce point de vue, Conférence de clôture, *Colloque « Michel Paty, philosophe et historien des sciences »*, Université de Tunis, Tunisie, 22-24 novembre 2007 (le 24.11). (Trad. en port.)
- Auguste Comte et la dynamique, Actes du *Colloque « Auguste Comte, la science et la société »*, Paris, 6 octobre 2007. sous presse.,

- Construcción de objecto y objectividad en fisica cuantica, trad. en castellano por Regino Martinez-Chavanz, Conferencia para la possessión de miembro correspondiente de la Academia Colombiana de las Ciencias Exactas y Naturales, à paraître. - (Original en français : Construction d'objet et objectivité en physique quantique, inédit).
- Einstein e a física quântica no periodo da sua viagem na America do Sul (1925), trad., Rio de Janeiro, Brésil, 2008. (Original en français :) Einstein et la physique quantique au moment de son voyage en Amérique latine (1925), inédit.

- The course of time. Physical and cosmological time, *Workshop on Time Arrow-La Flèche du temps*, Louvain-la-Neuve, 7-8 mai 2004. (à paraître).



M.P., *Brasier dans la cathédrale engloutie*, 1971

II.
Itinéraire.
Recherches et contributions

II.1. SCIENCE ET PHILOSOPHIE. CHEMINS EPISTEMOLOGIQUES

II.1.1. INTRODUCTION.

Je décris, dans cette première partie de l'exposé du contenu de mes recherches, quelques éléments de mon parcours intellectuel, qui m'a conduit, à partir d'une formation universitaire en mathématiques et en physique théorique, à me consacrer dans un premier temps à la recherche en physique fondamentale (dans le domaine de la physique des particules quantiques élémentaires ou subatomiques), puis, après une nouvelle formation en philosophie, à m'intéresser à la philosophie et à l'histoire des sciences au point de décider d'y consacrer désormais l'essentiel de mes recherches. J'insisterai surtout, dans la suite, sur cette seconde étape de mes travaux (décrite en II.3), considérant qu'elle a occupé à temps plein les vingt dernières années de ma carrière, celles de la maturité. Les recherches de la première période (décrites en II.2) ont porté pour l'essentiel sur la physique, et avaient fait l'objet d'un rapport au CNRS lorsque j'ai demandé (et obtenu) l'accord de la section du Comité National dont je relevais pour mon changement d'orientation, en 1983 (*Recherches sur la réalité physique* [1983l]). Dans le présent exposé, je donne seulement un résumé rapide de mes recherches en physique, mais on trouvera reproduit en Annexe (B) l'essentiel du rapport de 1983.

La présente *Notice* est donc complémentaire de la précédente, et on se reportera à celle-ci si nécessaire. Les deux s'appellent mutuellement par leurs titres. La *Notice des titres et travaux* de 1983 s'intitulait *Recherches sur la réalité physique*, étant donné que cette « réalité physique » était celle que révélaient les recherches en physique dans lesquelles s'inscrivait ma propre contribution, tout en se posant comme un problème philosophique et épistémologique, vers l'étude duquel je me sentais appelé. De fait, la question de la *réalité physique*, et plus généralement du *réel* par rapport à la *connaissance*, m'apparaissait alors comme étant la plus importante. Près de vingt ans plus tard, elle ne m'apparaît pas moins fondamentale, après que la pratique de l'analyse épistémologique et l'étude de l'histoire des sciences me l'ait fait voir sous d'autres éclairages et ait ajouté d'autres interrogations non moins profondes.

Le titre que j'ai choisi pour cette *Notice des travaux* à la date présente, *Réalité et intelligibilité (Chemins épistémologiques)*, avec un sous-titre simplement objectif, *Recherches en physique et en philosophie*, veut désigner

l'essentiel de cette expérience et de ses élargissements de perspective dans la continuité avec l'ancienne. J'ai mesuré, dans les deux étapes, ce que ma recherche doit à l'*expérience*, à l'exercice (dans un sens cartésien) de la pensée, qui est une véritable *pratique*, pratique de la physique dans la première phase, pratique de l'épistémologie et de l'histoire des sciences dans la seconde. Les deux s'épaulent, permettant de « se tenir les pieds sur terre » et de contrôler les élans de la pensée en guidant l'imagination et en exigeant d'affiner l'analyse, et peut-être de se donner une sorte de *vue synthétiqu*e (intuitive) de ce vers quoi l'on tend.

Les différents thèmes de philosophie, d'épistémologie et d'histoire des sciences que j'ai distingués dans mon exposé tels qu'ils ressortent de mes recherches, se présentent désormais en toute clarté, y compris dans leurs rapports entre eux, qui sont en fin de compte étroits, par-delà les premiers tâtonnements d'un intérêt qui ne savait encore, au début, s'il n'allait pas trop se disperser, et qui n'était pas encore assuré de ce qu'il tenait.

Ces thèmes, dont le détail est proposé plus loin (II.3), sont les suivants : (D) *Physique, mathématique et philosophie à l'âge classique* ; (E) *Travail scientifique et pensée philosophique* ; (F) *Contributions à l'épistémologie et à l'histoire de la théorie de la relativité* ; (G) *Les physiciens et le débat sur la physique quantique* ; (H) *Epistémologie de la physique subatomique et de son rapport à la cosmologie* ; (I) *L'intelligibilité du domaine quantique* ; (J) *Matière et concepts* ; (K) *Mathématisation et prédictivité* ; (L) *Pensée scientifique et signification* ; (M) *Philosophie de la création scientique* ; (N) *Traditions et transmission des connaissances scientifiques* ; (O) *Universalité, rationalité, vérité des sciences. Des questions philosophiques à l'épreuve de l'histoire*.

II.1.2. FORMATION ET PARCOURS.

II.1.2.a Descriptif

Après des études de mathématiques et de physique théorique à l'Université de Bordeaux, je me suis tourné vers la physique des particules élémentaires et des champs fondamentaux d'interaction (qui appartient au domaine de la physique quantique, expérimentale et théorique). J'ai poursuivi des recherches dans ce domaine de 1961 à 1983 : d'abord au Laboratoire de Physique Corpusculaire du Collège de France alors dirigé par Louis Leprince-Ringuet[5], et sous la direction d'André Lagarrigue et d'André Rousset (en 1961-1962) ; puis au CERN (Laboratoire Européen de Physique des Hautes Energies, alors Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire), à Genève (1962-1965). Mes recherches au CERN m'ont fourni la matière d'une thèse de doctorat d'Etat ès-sciences physiques, soutenue en 1965 à l'Université de Paris (Orsay) sous la direction d'André Lagarrigue[6]. La thèse portait sur la physique des neutrinos, un domaine alors presque totalement nouveau, devenu par la suite l'un des plus

[5] Louis Leprince-Ringuet (1901-2000) était professeur au Collège de France.

[6] André Lagarrigue (1924-1975), professeur de physique à l'Université de Paris (Centre d'Orsay).

importants de la physique des particules, et aujourd'hui également de l'astrophysique : ma thèse a été considérée comme un travail pionnier dans cette direction (*Etudes d'interactions de neutrinos dans une chambre à bulles à liquide lourd, CERN 65-12,* Genève et Paris, 1965, [1965a]).

Après mon service militaire effectué en coopération scientifique et technique au Brésil en 1965-1966 (enseignement et recherche à l'Université Nationale de Brasilia, sous la direction de Roberto Salmeron, puis au Centre Brésilien de Recherches Physiques de Rio de Janeiro[7]), j'ai été engagé comme chercheur du CNRS au Centre de Recherches Nucléaires (CRN) de Strasbourg, où j'ai travaillé de 1966 à 1983. J'ai fondé et dirigé un groupe de recherches en physique des particules élémentaires, travaillant sur divers problèmes d'interactions fortes, électromagnétiques et faibles, à l'aide de chambres à bulles et d'autres détecteurs, en collaboration internationale avec d'autres laboratoires et avec le CERN. J'ai été nommé directeur adjoint du CRN durant deux années (1973 et 1974), mettant sur pied et organisant la nouvelle Division des Hautes Energies. Au niveau national, j'ai été élu président de la Section de Physique nucléaire et corpusculaire du Comité National du CNRS, de l980 à 1983.

Durant ces années consacrées à la recherche en physique, j'ai publié une centaine d'articles et rapports sur mes sujets de recherche, j'ai formé une vingtaine de chercheurs et dirigé leurs thèses de doctorat, de 3ème cycle et d'Etat; j'ai enseigné régulièrement au DEA de Physique nucléaire et corpusculaire de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg[8], j'ai participé à des colloques et congrès internationaux et donné de nombreux séminaires dans des centres de recherches et universités en France et à l'étranger.

Tout en poursuivant ces recherches, je me suis formé en philosophie (licence et maîtrise, puis préparation d'une thèse de doctorat de spécialité en philosophie, sous la direction de Georges Gusdorf, professeur à l'Université de Strasbourg[9], sur le sujet : *Théorie et pratique de la connaissance chez Jean d'Alembert*, 1977). J'avais choisi délibérément un sujet très étranger à mes thèmes de recherche en physique, qui me plongeait dans l'histoire de la philosophie, des idées et des sciences, voire même dans l'histoire tout court. Cette formation me paraissait nécessaire pour devenir véritablement philosophe, sans le devoir à mes

---

[7] Roberto Salmeron, physicien brésilien, que j'avais connu au CERN où il avait travaillé de nombreuses années, était alors coordinateur des Instituts de sciences à l'Université de Brasilia (UNB). Il est retourné ensuite en France après la mise en échec, par la dictature militaire en place depuis 1964, de ce projet pionnier d'une Université pour le Tiers-Monde. Il a terminé sa carrière active au Laboratoire de physique des hautes énergies de l'Ecole polytechnique. Il a décrit dans son beau livre *A Universidade interrompida, Brasília 1964-1965* (Editôra UNB, Brasília, 1998) les racines, la réalisation, et l'étouffement final de cette entreprise remarquable à bien des égards, à laquelle j'ai eu le privilège d'être associé (je l'ai évoquée dans quelques articles : [1972f, 1975s, 1989k ; à paraître, cc]).

[8] Université de Strasbourg-1.

[9] Georges Gusdorf (1912-2000), professeur à l'Université de Strabourg-2 (aujourd'hui Université Marc Bloch), s'est éteint le 17 octobre 2000. Son œuvre est bien connue, notamment les nombreux volumes de sa série sur *Les sciences humaines et la pensée occidentale*, dont plusieurs traitent du XVIII è siècle.

connaissances sur la physique actuelle. Elle contribua en même temps à me préparer à devenir également historien des sciences et épistémologue, ce qui me vint plus tard, sur le terrain de la recherche dans ces matières.

Je m'intéressai également à l'épistémologie de la physique contemporaine. Je participai, dès 1971, à un enseignement d'option au DEUG (premier cycle) à l'Université Louis Pasteur de Strasbourg, donnant un cours hebdomadaire d'introduction à l'histoire des sciences (la première année en collaboration avec le regretté Marc Klein, professeur de médecine et historien des sciences, de la tradition de Bachelard et Canguilhem). En 1970, José Leite Lopes, physicien théoricien[10], Hervé Barreau, philosophe, et moi-même, nous créâmes le *Séminaire sur les fondements des sciences*, qui fonctionna régulièrement depuis lors et que je contribuai à animer jusqu'en 1983. En liaison avec ce séminaire, j'éditai, de 1973 à 1981, les *Cahiers Fundamenta Scientiae*, qui ont eu 100 numéros parus, et qui ont donné lieu, à partir de 1979, à la revue internationale *Fundamenta Scientiae*, que je fondai avec Baudouin Jurdant, et dont nous avons assumé depuis conjointement la rédaction en chef durant 10 ans (la revue a été publiée jusqu'en 1986 par Pergamon Press, Oxford, puis, de 1987 à 1989, par Nova Stella, São Paulo, tout en ayant sa rédaction à Strasbourg).

En 1974, j'organisai avec J. Leite Lopes, à Strasbourg, un colloque sur la mécanique quantique. Par ses participants et par son contenu, ce colloque a été considéré comme marquant, et a été publié en 1977, en anglais, chez Reidel (Dordrecht, Pays-Bas), sous le titre *Quantum mechanics, a half century later*. A partir de 1978, j'ai commencé de donner des articles d'épistémologie et d'histoire des sciences dans les deux directions de recherche que je tentais de mener de front avec mon travail en physique: science et philosophie au dix-huitième siècle, épistémologie de la physique contemporaine (élargie à des aspects plus généraux de philosophie des sciences).

Je me suis tourné ensuite de plus en plus vers l'épistémologie et l'histoire des sciences, auxquelles j'ai décidé de me consacrer entièrement à partir de 1983, lorsque je pus considérer que les chercheurs en physique que j'avais formés à Strasbourg pouvaient prendre la relève, et lorsque prit fin ma responsabilité de président de la Section de Physique Nucléaire et Corpusculaire du Comité National du CNRS.

En 1983, j'obtins de ma section d'appartenance du CNRS l'autorisation de me consacrer à temps plein à l'épistémologie, à la philosophie des sciences et à l'histoire des sciences. La même année, avec Roshdi Rashed, philosophe et historien des mathématiques, et Christian Houzel, mathématicien et historien des mathématiques, ainsi que d'autres collègues, nous mîmes sur pied à Paris une équipe de recherche, l'équipe REHSEIS (*Recherches Epistémologiques et Historiques sur les Sciences Exactes et les Institutions Scientifiques*, devenue

---

[10] José Leite Lopes, professseur à l'Université Fédérale de Rio de Janeiro (Brésil) et au Centro Brasileiro de Pesquisa Físicas (que j'avais connu lors de ma soutenance de thèse à l'Université de Paris-Orsay en 1965, où il effectuait un séjour de deux ans), proscrit par la dictature militaire brésilienne en 1969, fut invité comme professeur à l'Université Louis Pasteur de Strasbourg où il exerça jusqu'à sa retraite. Puis il retourna au Brésil.

depuis 1985 équipe de recherche propre du CNRS, l'UPR 318). Peu après, avec les mêmes collègues et des enseignants de l'Université Paris 7, nous fondions un DEA d'Epistémologie et histoire des sciences auprès des Universités Paris 7 et Paris 13, habilité par le Ministère de l'Education nationale dès 1985. J'assurai la direction du DEA pour l'Université Paris-7 jusqu'en 1992. Depuis 1986, je poursuis mes recherches dans ce domaine au sein de l'équipe REHSEIS, dont j'ai assumé la direction pendant huit ans, du début de 1993 à la fin de l'an 2000.

On trouvera, dans les pages qui suivent, la description des diverses activités que j'ai menées, notamment au cours de la dernière période. Je voudrais préciser dès maintenant, sur mon implication actuelle dans l'« organisation de la recherche », deux types de projets et de réalisations qui m'importent au premier chef. Le premier est le lancement d'une revue d'épistémologie, *Epistémologiques (Philosophie, sciences, histoire)*, que je dirige avec Jean-Jacques Szczeciniarz et Pablo Mariconda[11], ainsi que d'une collection d'ouvrages (« Penser avec les sciences », avec Jean-Jacques Szczeciniarz)[12], correspondant à l'esprit qui a mené les recherches et les réalisations collectives indiquées, et fournissant un lieu de publication internationale où il soit possible d'écrire *aussi* en français. Le second concerne les relations d'enseignement et de recherche au niveau international, en maintenant des collaborations sur des thèmes d'intérêt commun (voir, en particulier II.3.12, et 13, thèmes K et L) et en contribuant à la formation de chercheurs-enseignants dans la discipline dans divers pays, notamment ceux « en développement » (Brésil, Colombie, Mexique, Argentine, Inde, Cameroun), considérant le rôle qu'y joue la science et la nécessité de l'accompagner d'une réflexion « critique » informée et lucide. J'espère pouvoir continuer ces activités au cours de mes dernières années de recherche active, y compris après ma mise à la retraite[13].

II.1.2.b Réflexions

Mes recherches en *épistémologie et en philosophie des sciences* sont évidemment reliées à celles que j'ai pu faire en *physique fondamentale*. Toutefois, mon intérêt pour la philosophie est, sinon antérieur, du moins parallèle à ces dernières : une même motivation est à l'origine de ma décision de faire de la recherche en physique et de celle, plus tardive, d'approfondir les problèmes épistémologiques et philosophiques de la connaissance et de la pensée scientifique. Mon entrée dans la recherche en physique s'est, en effet, effectuée en deux temps. Le premier m'a fait passer de l'étude des *mathématiques* à celle de la *physique théorique des particules et des champs quantiques*, en raison de l'attrait que représentait l'étroite implication des mathématiques, cette science de la certitude, dans la description des phénomènes physiques. Le second m'a poussé vers la *recherche expérimentale sur les particules élémentaires*, par la fascination du contact avec la « réalité », à savoir la matérialisation, à travers l'expérience, de

---

[11] Elle est publiée par EDP-Sciences (Paris) et Discurso Editorial (São Paulo).

[12] Aux éditions EDP-Sciences, Paris.

[13] J'ai été nommé Directeur de recherche émérite au CNRS à compter de septembre 2003.

ces entités abstraites, *les concepts ou grandeurs de la théorie physique*, qui n'avaient de représentation exacte possible que par le moyen des mathématiques.

Ces deux caractères de la connaissance du monde physique, la *théorie* (physique) *mathématisée* et le *recours à l'expérience*, et leur rapport étroit, constituent aujourd'hui encore le centre de ma réflexion en philosophie des sciences, qui s'est grandement - mais non exclusivement - nourrie de l'examen de la signification des concepts et des théories de la physique contemporaine. J'avais découvert, ce faisant, l'épistémologie, qui me conduisit inévitablement à m'intéresser aussi à l'histoire de la constitution et du développement de ces connaissances. Je pris ainsi conscience de ce que, dès qu'il s'agit de penser la science et de la comprendre, l'on se trouve aux prises avec ces quatre approches ou disciplines très différentes mais indissolublement liées que sont *la science* (entendue comme chaque science spécifique ou comme toutes ces sciences considérées ensemble), *la philosophie des sciences et de la connaissan*ce, *l'épistémologie des sciences particulières*, *l'histoire des sciences* (ce que j'ai transcrit en invoquant la figure du 'tétraèdre épistémologique' dans mon livre *L'analyse critique des sciences*, [1990a]).

Une conjonction favorable a voulu que je rencontre, lors de ma formation en philosophie - j'en suis redevable à Georges Gusdorf -, cette période annonciatrice du monde contemporain qu'est le dix-huitième siècle, en particulier la figure de d'Alembert, mathématicien, physicien, philosophe, et engagé, par sa contribution à l'*Encyclopédie*, dans les débats de la société de son temps. L'étude de sa pensée et de son oeuvre m'a amené à y voir la première conception d'une épistémologie au sens où on peut l'entendre aujourd'hui (distincte de la philosophie) comme étude critique des concepts et des propositions d'une science donnée, dont l'apparition à cette époque tient sans doute au nouveau rapport alors institué entre la philosophie et les sciences. Ce faisant, un autre thème central de mes recherches se précisait: celui des rapports entre science et philosophie, que l'on peut suivre dans la perspective historique et dans son état actuel.

Mon orientation se situe dans le courant de philosophie des sciences et d'épistémologie de tradition française (j'y reviendrai, voir II.3.1), où l'étude structurelle des propositions de la science n'est jamais détachée de l'approche historique. Cependant, les débats suscités par les sciences contemporaines et les nouvelles problématiques philosophiques apparues depuis l'entre-deux-guerres, ainsi que les évolutions en histoire des sciences, en ce qui concerne la méthode et la rigueur, et la prise en compte des divers aspects des contextes historiques - intellectuels, politiques et sociaux -, ainsi que des pratiques, exigeaient de tenir compte des apports différents qui pouvaient être féconds. Sans partager les orientations générales de l'empirisme et du positivisme logiques et de leurs héritiers, orthodoxes ou dissidents, j'ai trouvé chez plusieurs auteurs qui appartiennent à ces courants des éléments de réflexion très stimulants et des outils d'analyse capables de conférer à l'épistémologie un degré élevé de précision et d'objectivité. Mais je n'oublierai pas d'autres exigences apportées par des penseurs appartenant à des courants différents, parmi lesquels en particulier Ernst Cassirer. Et surtout, dans la direction que j'ai choisie, je dois beaucoup aux enseignements et aux travaux des philosophes français Gilles-Gaston Granger, Jules Vuillemin,

Jacques Merleau-Ponty, du philosophe italien Ludovico Geymonat[14] et d'autres penseurs et chercheurs qu'il serait trop long de nommer ici. Je veux cependant mentionner l'importance de la rencontre et des liens créés avec Mario Bunge, Robert S. Cohen, Marx Wartofsky[15].

Mes recherches en philosophie des sciences, en épistémologie et en histoire des sciences sont menées par le souci de rapprocher la philosophie des sciences (souvent cantonnée, pendant plusieurs décennies, dans les problèmes de philosophie du langage) des sciences proprement dites, mettant en évidence ce que les deux se doivent mutuellement, tant par l'étude de la science contemporaine que par celle du développement historique des sciences. C'est pourquoi ces recherches ont deux points d'application principaux : l'épistémologie de la physique contemporaine, et l'histoire de la physique. Les analyses précises de cas, de problèmes, de concepts, fournies par ces dernières, constituent les données, toujours vérifiables, à partir desquelles il est possible d'aborder un certain nombre de problèmes fondamentaux de philosophie des sciences.

II.2. RECHERCHES EN PHYSIQUE SUR LES PARTICULES QUANTIQUES ELEMENTAIRES (1962-1983)

J'indique succinctement les thèmes de mes recherches en physique fondamentale, poursuivies de 1960 à 1983. L'essentiel concerne la production, la détection, l'identification et l'étude des propriétés des particules élémentaires et de leurs champs d'interaction. Les données, obtenues auprès de grands accélérateurs comme celui du CERN à Genève, par le moyen de détecteurs comme les chambres à bulles, les chambres à étincelles et les émulsions nucléaires, sont analysées avec précision et interprétées de manière théorique, par comparaison aux modèles dynamiques et aux classifications des symétries internes. Il se trouve que la période où j'ai travaillé sur ces questions a été d'une grande richesse, tant du point de vue de la connaissance des diverses familles de particules (notamment les particules hadroniques, c'est-à-dire à interactions fortes, comme les mésons scalaires et vecteurs, les résonances à étrangeté, les particules charmées), aboutissant à leur classification en termes de quarks élémentaires qui les constituent, que du point de vue de la nature des trois champs d'interaction, qui interviennent au niveau nucléaire et subnucléaire aux énergies considérées (interactions faibles, électromagnétiques et fortes).

J'ai eu la chance de commencer mes recherches en physique à la faveur des premières tentatives de réaliser des faisceaux de neutrinos (particules qui venaient tout juste de cesser d'être hypothétiques en 1961, quand je commençai à les

---

[14] Gilles-Gaston Granger, professeur à l'Université d'Aix-Marseille puis au Collège de France ; Jules Vuillemin (1920-2001), professeur au Collège de France ; Jacques Merleau-Ponty (1916-2002), professeur à l'Université de Paris-10 Nanterre (voir sa biographie [2003p]) ; Ludovico Geymonat (1908-1991), professeur à l'Université de Milan (voir [1993j]).

[15] Mario Bunge, professeur à l'Université MacGill, à Montreal (Canada) ; Robert S. Cohen, professeur à l'Université de Boston (USA) ; Marx Wartofsky (1928-1997), professeur à la City University de New York (USA).

étudier), et j'ai vécu la période pionnière de ce domaine. La première expérience faite au CERN, en 1961-1962, fut un échec, faute de disposer d'un faisceau suffisamment intense, et je me rabattis, pour ma première thèse de physique (celle de troisième cycle) sur des processus présents sur les mêmes photos de chambre à bulles que celles exposées au faisceau de neutrinos, mais dûs à des particules cosmiques de très haute énergie (des muons), qui donnaient de rares interactions photonucléaires. Je pus confirmer l'interprétation théorique de celles-ci en termes de la théorie existante (l'électrodynamique quantique). Je soutins ainsi cette thèse, préparée à Paris et à Genève, à l'automne 1962 à l'Université de Bordeaux [1962a]. Recruté ensuite au CERN comme physicien, j'y participai à toutes les phases de la préparation de la première véritable « expérience neutrino », sur laquelle je devais soutenir ma thèse de Doctorat ès-sciences physiques en 1965, et qui, elle, apporta des résultats très neufs sur les neutrinos et les processus d'interaction faibles [1965a].

J'ai participé par la suite, étant à Strasbourg, à d'autres études sur des interactions électromagnétiques et fortes, puis je revins à la physique des neutrinos lorsque mon laboratoire put disposer des instruments d'analyse appropriés. C'était dans les années 1970, et ces expériences avaient alors une importance très considérable, car elles fournissaient le moyen le plus direct de tester la nouvelle théorie des interactions électrofaibles, qui représentait une avancée remarquable de la théorie quantique des champs, avancée prolongée ensuite dans le domaine des interactions fortes avec la chromodynamique quantique.

Ce fut une période très passionnante de la physique « subatomique », où il n'y eut presque pas de mois qui n'apportât son contingent de nouvelles idées théoriques et sa moisson de résultats expérimentaux qualitativement nouveaux. Tout en y participant par les recherches menées dans le groupe de recherche que je dirigeais à Strasbourg, je les accompagnais pour un plus grand public en rapportant régulièrement dans la revue *La Recherche*[16], les nouveaux résultats et les perspectives de ce domaine de la physique, qui nous paraissait se clarifier sous nos yeux de jour en jour ([1973e, 1974d,g, 1975k,m,n, 1976h,i, 1977i,j, 1978l, 1979e,f,g,h, 1980c,d]. Voir aussi, dans d'autres publications : [1974a,f, 1975b,l, 1976g, 1976v, 1978k, 1981i, 1983f, 1985a,c, 1995e, 2000h,i].

II.2.1. (A) PHYSIQUE DU NEUTRINO (1961-1966, 1974-1983).

J'ai étudié la physique des neutrinos au cours de deux périodes, la première en 1961-1966, la seconde en 1974-1983. La première période correspond aux études pionnières sur la physique des neutrinos rendues possibles par la nouvelle génération d'accélérateurs de particules, produisant des flux intenses de neutrinos. Dans ma thèse, *Etudes d'interactions de neutrinos…* publiée comme *Rapport CERN 65-12* (Genève, 1965) [1965a], on trouve notamment une limite inférieure de la masse du boson intermédiaire des interactions faibles, la valeur d'une limite

16 La revue était alors animée notamment par Martine Barrère (1940-1995) et Pierre Thuillier (1927-1998), avec lesquels j'ai eu plaisir à travailler et à lier amitié, et qui ont été associés plus tard à l'enseignement du DEA d'Epistémologie de Paris-7. Ils nous ont quittés prématurément.

pour les courants neutres qui correspond à la valeur effective trouvée pour ceux-ci dix ans après (corroborant la théorie d'unification électrofaible de Salam et Weinberg élaborée en 1967-68), une première estimation du facteur de forme axial du nucléon (voir l'Annexe B, 2.1). La limite sur les courants neutres ne fut pas publiée ailleurs que dans ma thèse, car les publications collectives de l'équipe à laquelle j'appartenais s'étaient contentées d'une première estimation rapide, que j'avais dû revoir en procédant à une analyse plus fine. La question paraissait alors d'importance secondaire, car tout semblait indiquer que des courants neutres faibles n'existaient pas. Dix ans plus tard, ils constituaient la première indication forte en faveur de la théorie électrofaible de Salam, Weinberg et Glashow. Mon résultat indiquait seulement que de tels courants n'étaient pas exclus sur une base expérimentale, ce qui était en soi suffisamment important : c'était alors en effet la seule donnée d'expérience qui ne s'opposait pas à une telle hypothèse théorique[17]. (Voir [1963d, 1964a,b, 1965,b,c,d,e], et surtout [1965a]. Voir aussi [1966a]).

La physique du neutrino est devenue, dans la décennie suivante, l'un des domaines les plus riches et novateurs en physique. J'ai repris ce sujet dans de nouvelles recherches, sur les courants neutres et chargés, de 1974 à 1983. Les résultats obtenus concernent les sujets suivants : courants neutres avec production d'un méson π, comparaison aux modèles théoriques, détermination de l'angle de mélange « de Salam-Weinberg » par sin θ, mise en évidence des propriétés d'isospin des courants neutres : mélange I = 0, 1 ; courants chargés, étude des canaux à un méson π, de la production de particules étranges, des sections efficaces « inclusives » sur proton et sur neutron, de la section efficace totale, détermination du paramètre M_A du facteur de forme axial, tests de l'invariance d'échelle et du modèle des quarks. (Voir [1975e, 1977d, 1978a,b,c,d,f,g, 1979a, 1980a], [1976a]).

II.2.2. (B) RECHERCHES SUR LES PARTICULES ELEMENTAIRES ET LES CHAMPS D'INTERACTION

J'ai étudié les interactions électromagnétiques des particules élémentaires en premier lieu par les interactions photonucléaires de muons (1961-62), mentionnées précédemment (voir [1962a,b, 1966b]), et ensuite par la détermination des modes de désintégration du méson scalaire $\eta°$, notamment de l'ensemble de ses modes neutres par détection des photons γ et des $\pi°$ (1967-1969). Les résultats obtenus ont donné des informations importantes en termes de la classification des particules hadroniques suivant le groupe de symétrie SU(3) des nombres quantiques internes. (Voir [1963b et c, 1967a,b, 1968a,b, 1969a,b, 1970a, 1970c, 1971c)]).

---

[17] Dans la collaboration « Neutrinos-Gargamelle » qui mit les courants neutres en évidence en 1973 (résultat que j'ai rapporté presque immédiatement dans [1973e]), le premier mérite revient, à mon avis, à Paul Musset, André Lagarrigue et André Rousset, qui ont su « oser » se lancer dans cette analyse malgré de nombreux avis contraires. Les deux premiers sont morts respectivement en 1975 et 1985, trop tôt pour recueillir une récompense qu'ils auraient, selon moi, méritée, le troisième vient de nous quitter en 2001.

J'ai étudié les interactions fortes par les propriétés de production de plusieurs particules hadroniques par des mésons π et K de haute énergie sur noyaux (en chambre à bulles à liquide lourd, propane et propane-fréon) : vers 10 GeV, par la production cohérente de système de particules sous la forme d'états tels que le « méson Q » à trois mésons, $K\pi\pi$ (permettant notamment d'en inférer la section efficace Q^+-nucléon) et de résonances proprement dites (B-1235, ρ-1700) ; ou encore l'échange de charge $K^+n \rightarrow K^0p$ à haute énergie, interprété en termes de la théorie de symétrie unitaire SU(3), et de « trajectoires d'échanges » selon la théorie de la matrice de diffusion). (Voir [1963b,c], [1970d, e, f, 1971a, d, 1972a, 1974a, 1977c], [1971e], [1980b, 1983a]).

Et aussi, la détermination du déphasage $\pi^0\pi^0$ dans les systèmes multipions produits par des mésons π^+ à 3.5 GeV (1968-1975), les mésons π^0 étant détectés et reconstitués à partir de leurs photons de désintégration ($\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$). (Voir [1970g, h, 1971b, 1973a, 1975c]).

Je mentionne encore une expérience (d'interactions faibles) effectuée conçue et réalisée vers 1975-1976, à l'aide d'un détecteur hybride émulsions-chambres à étincelles, pour rechercher des particules « charmées » à longue durée de vie[18]. Les muons, détectés dans les chambres à étincelles signaient une interaction de neutrino et la finesse d'observation des grains d'argent de l'émulsion permettait de suivre, au microscope, les traces qui contenaient un coude après un bref parcours, signe de leur désintégration. Nous pûmes, par cette expérience, observer directement, pour la première fois, la trace d'une particule de cette nouvelle famille (liée à un quatrième quark), qui venait juste d'être connue, mais toujours par reconstitution indirecte. (Voir [1976b et c, 1978e, 1979b]).

II.2.3. (C). MISES AU POINT DE SYNTHESE

J'ai rédigé quelques mises au point sur des sujets de recherche en physique, tels que : *Diffusion élastique à grande énergie* (Deuxième thèse, Paris, 1965 : [1965f]) ; *Désintégrations électromagnétiques des bosons* (cours enseigné en 1970 : [1970b]) ; symétries des particules élémentaires [1985d] ; état des tests de vérification des inégalités de Bell, avant les expériences d'A. Aspect ([1975a, 1977b], et organisation d'un ouvrage sur les problèmes de la mécanique quantique (en collaboration avec J. Leite Lopes [1975, 1977a]) ; plus récemment, en 1996, état de la physique subatomique (de 1970 à 1995, [1996g]) pour l'IN2P3.

Pour plus de détails, voir le rapport que j'ai écrit en 1983, sous le titre *Recherches sur la réalité physique*, où je donne un bilan de mes recherches et activités en physique et justifie mon orientation vers l'épistémologie et l'histoire des sciences[19]. Par ailleurs, ma section d'origine du Comité National du CNRS a

---

[18] Je me souviens des idées stimulantes échangées avec Eric Burhop (1911-1980) sur la faisabilité de cette expérience, pour la réalisation de laquelle nous avons mobilisé plusieurs laboratoires. Il lui plaisait sûrement, à lui qui avait vécu l'âge d'or des émulsions nucléaires pour identifier les premières particules, de faire reprendre du service à ce détecteur alors quasiment abandonné.

[19] Voir Annexe B, 2.

donné, lors de mon changement de section en 1991, une appréciation très positive sur l'ensemble de mes travaux et de mes activités en physique[20].

II.3. RECHERCHES EN PHILOSOPHIE, EPISTEMOLOGIE ET HISTOIRE DES SCIENCES : SUR LA CONSTITUTION ET L'INTELLIGIBILITE DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES

(depuis 1971 ; à temps plein depuis 1983)

II.3.1. INTRODUCTION. CONNAISSANCE ET INTELLIGIBILITE

Mes contributions en philosophie des sciences, en épistémologie et en histoire des sciences se multiplient à partir de 1977 (après la soutenance de ma thèse de philosophie à l'Université de Strasbourg, [1977k]), comme on le voit à la liste de mes publications (voir V). De 1977 à 1983, j'ai mené de front les deux domaines (les publications d'épistémologie et histoire des sciences prennent le pas sur celles de physique vers la fin de cette période), tout en assurant en physique un travail à temps plein avec de nombreuses responsabilités (voir III 2.2 et 2.3). Depuis 1983, je me consacre entièrement à des recherches d'épistémologie, d'histoire et de philosophie des sciences.

Mes recherches dans ce domaine portent sur l'analyse de différents problèmes posés par les sciences exactes (surtout la physique, entendue dans un sens large qui touche à l'astronomie et à la chimie, et les mathématiques à leur jonction avec la physique), en étant attentif à la réalité effective de ces sciences, en ce qui concerne tant leurs contenus intellectuels que leur contextes et leurs implications, notamment dans leurs dimensions historiques. Si je suis premièrement motivé par les problèmes épistémologiques et philosophiques relatifs à ces sciences, je suis également convaincu, par expérience, que les études précises d'histoire des sciences fournissent une riche matière pour des réflexions et des analyses de cette nature. J'ai, depuis mes débuts dans ce domaine, tenu une égale balance entre, d'une part, des recherches d'épistémologie historique sur des auteurs et des œuvres, de la période classique (notamment au siècle des Lumières, avec l'épanouissement de la mécanique et de l'analyse) à la période contemporaine (avec les révolutions relativiste et quantique), et, d'autre part, l'étude de problèmes épistémologiques posés par la physique actuelle en son état, prolongée dans des questions philosophiques de portée plus générale sur la nature de la connaissance scientifique, et sur son objet.

Dans ce questionnement, je me situe, comme je l'ai indiqué plus haut, dans la lignée de la « tradition française » de l'épistémologie et de la philosophie de la connaissance, illustrée par Pierre Duhem, Emile Meyerson, Gaston Bachelard, Alexandre Koyré, Hélène Metzger, Georges Canguilhem, Jean Cavaillès, Albert Lautmann, Jean-Toussaint Desanti, Jacques Merleau-Ponty, Gilles-Gaston

[20] Voir Annexe C.

Granger, Jules Vuillemin… La formation de ma propre pensée est également tributaire d'autres influences, parmi lesquelles l'enseignement de Georges Gusdorf pour l'histoire des idées, la lecture d'Ernst Cassirer (par son ampleur rationnelle et son ouverture culturelle), l'exemple de Ludovico Geymonat (le premier peut-être à avoir su joindre le souci historique et la rigueur analytique, et qui alliait aussi la probité scientifique et l'engagement). Je devrais mentionner également les lectures qui m'ont convaincu de l'importance de la précision analytique, parmi lesquels maints textes de Hans Reichenbach et d'autres de Karl Popper, Imre Lakatos, Mario Bunge, etc… J'ajoute, mais cela sera évident à lire la suite, l'œuvre et la pensée de scientifiques-philosophes comme Henri Poincaré et Albert Einstein, que je ne sépare pas, à vrai dire, des philosophes mentionnés, car je conçois la philosophie d'abord comme une orientation d'esprit avant d'être ramenée à une discipline.

Ces références sont indicatives et nullement exclusives. Au surplus, elles ne veulent qu'indiquer une inspiration intellectuelle, et ne marquent en rien une obédience à quelque école. Je les donne ici surtout comme des signes, étant donné qu'une orientation intellectuelle se constitue autant par dialogue et confrontation que par filiation. Je dois en outre indiquer que j'ai été sensibilisé assez tôt, dans mon parcours de philosophe et d'historien des sciences, à l'appel de l'extérieur, je veux dire vers l'élargissement de perspectives au-delà de l'horizon contemporain du monde occidental développé, non pour modifier l'objet de mes recherches, mais pour tenir compte d'autres apports, notamment concernant l'histoire des sciences, qui suscitent de nouveaux questionnements. Le nom de Joseph Needham est symbolique d'une approche plus universaliste et « œcuménique » de notre conception de la science, et je le rajoute à ce titre aux noms déjà cités[21].

J'ai mené, depuis 1983, mes recherches au sein de l'équipe REHSEIS, en maintenant mes intérêts personnels, tout en bénéficiant de l'apport, très riche dans les divers domaines de l'histoire des sciences, des recherches que les uns et les autres y mènent, et des échanges réguliers qui y ont lieu. Cette équipe fut fondée cette année-là par Roshdi Rashed, Christian Houzel et moi-même, dans le but de favoriser, dans le domaine de l'épistémologie et de l'histoire des sciences, une dynamique d'un travail commun effectué dans cet esprit de rigueur et d'ouverture. En dehors de mon propre champ de recherches initial, je me suis personnellement intéressé en particulier aux problèmes méthodologiques rencontrés dans la recherche en histoire des sciences, à partir de la confrontation des expériences relatives à des époques, des disciplines et des aires culturelles différentes, qui favorisaient progressivement des approches directement comparatives. Ces aspects méthodologiques sont, de fait, liés à des questions philosophiques, souvent négligées, mais fondamentales.

---

[21] Le colloque réuni à New-Delhi en 1997 autour de la mémoire de Needham, mais pour explorer de nouvelles voies dans un esprit inspiré du sien, était à cet égard une sorte de programme : la délégation française y était importante, avec des chercheurs des deux équipes REHSEIS et CHSPAM (Centre d'Histoire des Sciences et de la Philosophie Arabes et Médiévales, dirigé par Jean Jolivet puis par Roshdi Rashed).

Mes recherches portent sur l'*épistémologie et l'histoire de la physique classique* (en particulier sur le dix-huitième siècle) aussi bien que *contemporaine* (relativité, quanta, symétries et probabilités en physique ; plus récemment sur d'autres questions comme les systèmes dynamiques) et sur la *philosophie des sciences* d'une manière plus générale. Par-delà l'intérêt proprement historique du *développement et de l'évolution des sciences*, l'histoire des sciences peut être également considérée comme un *champ de problèmes pour la philosophie de la connaissance*, tout en respectant rigoureusement les exigences de la méthode historique. C'est selon cette double perspective que mon travail est orienté. S'il présente quelque originalité, outre ses points d'application pris dans les sciences physico-mathématiques, c'est avant tout par la volonté de *maintenir ensemble le questionnement philosophique et l'exactitude historique*, contre la séparation largement dominante au long du XXe siècle entre la philosophie des sciences et l'histoire des sciences, malgré un certain nombre d'œuvres significatives dans les champs culturels italien et français, que j'ai déjà mentionnés.

Bien que l'épistémologie et l'histoire des sciences soient étroitement imbriquées dans mon approche, il est possible de distinguer strictement dans mes recherches celles qui ressortissent davantage de l'histoire des sciences et de l'épistémologie historique et celles de philosophie des sciences proprement dite (philosophie de la connaissance). Du coté des premières, les recherches que je rapporte ici sont orientées autour d'axes thématiques tels que l'élaboration et l'interprétation des théories (la mécanique classique, sa mathématisation et son élargissement avec le développement du calcul différentiel et intégral, la théorie de la relativité, restreinte et générale, l'élaboration de la physique quantique et ses problèmes épistémologiques), la signification des concepts et des élaborations de la physique contemporaine dans le domaine subatomique, les rapports entre la physique et les mathématiques et leur évolution, les questions de styles et de traditions scientifiques, la création de théories et de concepts scientifiques. Toutes ces questions ont des implications en philosophie de la connaissance.

En ce qui concerne les « études de cas » et les analyses des œuvres, mes recherches ont porté d'une part sur des problèmes et des penseurs de l'époque « classique », essentiellement du XVIIIe siècle et surtout d'Alembert, d'autre part sur les aspects épistémologiques et les dimensions philosophiques de la physique contemporaine, à travers des problèmes (mécanique quantique, relativité, symétries, cosmologie), mais également à travers des auteurs. De la physique contemporaine, je me suis porté vers les circonstances de son développement et son origine, et donc vers le dix-neuvième siècle. Je me suis attaché en particulier, pour ce qui est des auteurs, à la pensée des « savants-philosophes », notamment Ernst Mach, Pierre Duhem, Henri Poincaré et surtout Albert Einstein.

Quant aux problèmes de philosophie des sciences que j'aborde, ils sont centrés autour de notions comme celles, qui paraissent souvent s'opposer, de *réalité*, de *connaissance symbolique*, de *vérité*, de *rationalité*, de *donné empirique*, d'*objectivité*, de *scientificité*, de *construction inscrite dans l'histoire* et d'*historicité*, d'*intelligibilité*, de *nouveauté* en science (ses conditions de possibilité), de *découverte* (peut-elle être un thème pour la philosophie ?), d'*universalité* de la science, et de *science* elle-même. J'essaie de confronter

l'analyse philosophique de telles notions, qui sont fondamentales si l'on ne veut pas s'en tenir à une philosophie nominaliste et pragmatique dans un sens utilitariste, et ce que nous en enseigne l'étude historique du développement des idées et des connaissances scientifiques, ainsi que l'histoire sociale elle-même. La critique se fait ainsi non seulement philosophique, mais épistémologique et historique (et aussi sociale), ou du moins elle tient compte de ces diverses dimensions comme d'autant d'exigences intellectuelles.

L'inspiration fondamentale de mes recherches en philosophie, en épistémologie et en histoire des sciences peut tenir en deux mots : la connaissance et l'intelligible. Je m'intéresse, en particulier, à leurs rapports. La connaissance, centrée autour de la connaissance scientifique, demande à être saisie dans ses différents aspects, qui vont de sa constitution, sous ses différentes formes, symboliques et pratiques, à son assimilation, à sa diffusion et à son transfert, voire à son application et à ses rapports aux autres formes culturelles. Ces dimensions appellent une interrogation sur la définition de ce que l'on entend par science, qui se situe sur le double plan philosophique et historique. L'intelligible est ce par quoi ces connaissances peuvent être intériorisées, assimilées, reproduites ou réinventées par des intelligences singulières, et toutefois de telle façon à être conçues sur le mode de l'objectivité. Le rapport de la connaissance à l'intelligible constitue la préoccupation essentielle qui se trouve au soubassement de mes recherches.

Les travaux que je résume ci-dessous, classés suivant les thèmes principaux qui se sont dégagés de mes recherches, ont fait l'objet de publications soit comme livres, soit comme articles dans des revues internationales ou dans des ouvrages collectifs édités en France ou à l'étranger. Certains sont en cours, notamment les ouvrages qui réunissent thématiquement des articles. Ces textes sont rédigés d'abord en français, et dans une moindre mesure en anglais, en portugais et en espagnol. Certains ont été exposés à des congrès et des colloques (voir III.3.2,3.6), dans des conférences et séminaires (III, 6), et dans des cours au niveau de la formation doctorale (III.4.1).

II.3.2. (D) PHYSIQUE, MATHEMATIQUE ET PHILOSOPHIE A L'AGE CLASSIQUE

Les sujets abordés sous cette rubrique sont principalement axés autour de l'idée d'intelligibilité en mathématiques et en physique, de Descartes à d'Alembert, et portent sur la rationalité, l'invention et la mathématisation des concepts physiques aux XVIIe et XVIIIe siècles, ainsi que, d'une manière plus générale, sur les rapports entre science et philosophie à l'époque des Lumières.

Science et philosophie au XVIIIe siècle

Le XVIIIe siècle est une période fondamentale pour qui se préoccupe des rapports entre science et philosophie, désormais très proches en nature de ce qu'ils sont aujourd'hui, en particulier par la distinction de leurs propos respectifs – et leur séparation de fait. Or d'Alembert est l'un des penseurs de cette époque - celle de la philosophie des lumières - dont l'oeuvre est la plus apte à réfléchir ces

rapports. Outre des travaux mathématiques et physiques d'une importance considérable, il a donné des contributions à la philosophie de la connaissance qui, par-delà leur originalité propre dans un espace intellectuel marqué par l'héritage de Descartes, Newton et Locke, et venant juste avant Kant, possèdent cet intérêt d'être reliées directement à sa pensée scientifique et à la problématique des sciences de son temps.

Ma thèse de philosophie a porté, précisément, sur la mise en relation de son oeuvre scientifique et de ses conceptions philosophiques (*Théorie et pratique de la connaissance chez Jean d'Alembert*, [1977k]). J'ai développé dans cet ouvrage (resté inédit), et dans des études précédentes ([1971g, 1973f, 1975p, 1977l) et postérieures ([1978p, 1980f, 1981d et e, 1984a-d, 1987d et g, 1988b, 1989d, 1990k, 1993h]), des analyses sur les aspects suivants : sa conception de la théorie physique et du rapport des mathématiques et de la physique, ses conceptions sur la connaissance en rapport à son travail scientifique en mathématique et dans les « sciences physico-mathématiques », l'originalité de sa pensée épistémologique, l'intérêt de sa critique de la notion de probabilité (sa pensée probabiliste, souvent décriée, méritait une étude exhaustive la reliant au contexte de la théorie des probabilités de son temps et à ses conceptions scientifiques d'ensemble), sa position philosophique par rapport au matérialisme.

Je me suis également intéressé à « *La critique rationaliste de la notion de création au dix-huitième siècle* ». De l'élimination des causes finales par la mathématisation de la physique (voir d'Alembert et Lagrange) à l'hypothèse de Kant-Laplace sur la formation du système solaire, et au développement des sciences de la vie qui déterminent un nouveau champ de rationalité, il ressort que le thème de la création est particulièrement apte à manifester l'évolution des rapports entre sciences, philosophie et métaphysique au dix-huitième siècle, jusqu'à son progressif effacement dans des philosophies aussi différentes que celles de Diderot, Hume et Kant. [1983e].

La question des rapports entre science et société, notamment à travers les encyclopédistes, mais aussi à travers le lien qui va de d'Alembert à Condorcet, a fait également l'objet de plusieurs études [1977l, 1986h, 1990g].

D'Alembert et la critique des probabilités.

J'ai approfondi, en 1988 et 1989, l'examen que j'avais seulement esquissé dans ma thèse sur la position de d'Alembert par rapport aux probabilités. Dans un premier travail, « *D'Alembert et les probabilités* », j'analyse les diverses interventions de d'Alembert sur le sujet, en tentant d'évaluer sa position par rapport au statut du calcul des probabilités à son époque. D'Alembert, qui s'intéressa à tous les aspects des mathématiques de son temps, se pencha également, comme ses contemporains, sur le calcul des probabilités et ses applications. Dans une période d'effervescence féconde sur ce sujet, son intérêt pour les problèmes soulevés se manifeste de façon constante ; mais son apport est fréquemment jugé comme négligeable, sinon négatif, se marquant surtout par des « doutes et questions ». Cela est à première vue étonnant si l'on considère, d'une part, sa perspicacité en mathématiques et dans cette « physique mixte » (théorique et mathématique) qui élargit substantiellement avec lui le domaine de la

mécanique, ainsi que son intérêt pour la rationalisation des aspects d'une vie sociale et politique où il mena un combat militant ; et, d'autre part, le fait que ses disciples les plus proches, qui continuèrent son oeuvre, furent Condorcet et Laplace à qui l'on doit dans ce domaine les travaux considérables que l'on sait.

C'est à tenter de situer cet aspect de la pensée de d'Alembert, par rapport aux problèmes de la théorie des probabilités et de ses applications, et par rapport au reste de son oeuvre, que je me suis efforcé. Une évaluation de la pensée probabiliste de d'Alembert (ou, pour mieux dire, de sa pensée des probabilités), est *a priori* intéressante à deux égards : d'abord, par ce qu'elle peut révéler des insuffisances du concept et de la théorie même des probabilités, dont le statut encore incertain oscille alors entre l'assignation objective de phénomènes et l'interprétation subjective, comme de ses applications à l'époque considérée ; ensuite, par ce qu'elle peut enseigner sur la structure de sa pensée, sur les présupposés de son « système » propre, en ce qui concerne notamment les conditions d'applications des mathématiques aux phénomènes naturels (par exemple sur le rapport répétition-causalité, l'hypothèse d'équiprobabilité, l'indépendance d'évènements successifs et le rapport au temps). Je me suis donc proposé de reprendre les interventions de d'Alembert sur le sujet, en les exposant et en les analysant en suivant l'ordre chronologique de leur composition ; on y voit une pensée soucieuse de rigueur aux prises avec un objet que l'approche scientifique n'a pas encore réussi à cerner avec la clarté conceptuelle désirable, et qui met le doigt sur des difficultés réelles, certes à sa manière et avec les présupposés qui lui sont propres. Cette étude dégage certains aspects thématiques relatifs tant à la théorie des probabilités elle-même qu'à certaines de ses applications, en les soumettant à une analyse épistémologique, susceptible de mettre en lumière les aspects problématiques soulevés - à tort ou à raison - par d'Alembert. [1988b].

Un second travail complète le précédent, sous le titre « *La critique par d'Alembert des conditions d'une théorie des probabilités physiques* ». Les observations critiques formulées par d'Alembert à l'égard du calcul des probabilités de son temps soulèvent différents thèmes épistémologiques, parmi lesquels j'ai choisi d'examiner celui qui concerne le caractère physique des évènements auxquels le calcul est appliqué. Plusieurs questions sont passées en revue : celle, tout d'abord, du statut d'une théorie des probabilités *physiques*, puis celle des *séquences* répétées, de l'uniformité et de la causalité ; celle de l'équiprobabilité et de sa justification (dont la considération devra attendre Poincaré, comme l'a rappelé Reichenbach), pour laquelle je montre l'intérêt d'un texte de 1780 ; celle du temps physique des évènements dont il faut souligner le rôle propre, notamment en rapport à la causalité. Je conclus enfin par l'évocation du hasard dans les probabilités et par l'insatisfaction de d'Alembert à l'égard de l'interprétation subjective qui met en avant notre ignorance. [1987g].

Retour à d'Alembert et aux Lumières

J'ai repris par la suite, après ces premières recherches sur d'Alembert et sur le siècle des lumières, l'étude de cette période sous l'angle général suivant : *Science et philosophie à l'époque des Lumières. Rationalité, invention et*

mathématisation des concepts physiques aux XVIIe et XVIIIe siècles. Pour comprendre ces questions, et en particulier la gestation et la transformation des concepts et des théories scientifiques, il fallait étudier aussi des oeuvres antérieures, par exemple celle de Descartes, notamment pour ce qui est de la rationalité et de l'intelligibilité (notions si fondamentales chez d'Alembert lui-même, et dans les Lumières d'une manière générale). Ou encore, Galilée, pour les débuts de la dynamique et de sa mathématisation, avec *l'introduction du temps comme variable fondamentale* (je n'y ai consacré qu'un modeste article [1996j], mais qui du moins souligne cette idée, qui ne me semble pas avoir été suffisamment mise en valeur jusqu'ici). Revenir à Newton était également nécessaire. Mon premier travail d'épistémologie (un mémoire de DEA, où je mettais en rapport certaines idées de d'Alembert avec celles de Newton, publié en deux parties : [1971g, 1972d,e, 1973f]), examinait l'espace et le temps absolu newtoniens. Mais il était encore trop imparfait. Je n'avais fait qu'entrevoir l'importance de ces concepts absolus pour la mathématisation du mouvement ; il fallait aller plus loin, et y voir la condition de l'*invention* du *temps instantané* par Newton, indissociable de sa mathématisation du mouvement des corps. Nous voyons ainsi s'approfondir et se préciser, de Galilée à Newton, puis chez leurs successeurs, la *mathématisation de la dynamique autour de celle du temps*, qui en constituera désormais le concept central, lié à la notion de causalité physique, et dont on peut suivre le développement (à travers d'Alembert, Lagrange, et les interprétations philosophiques de Locke et de Kant notamment) jusqu'à la théorie de la relativité, au début du XXe siècle (voir [1994b et f, à paraître d], et sur le concept de temps, voir plus bas, II.3.8, thème J).

« Mathesis universalis » et intelligibilité chez Descartes.

La question de l'intelligibilité, qui est au cœur de la philosophie de Descartes, voit son premier jaillissement dans les *Règles pour la direction de l'esprit*, rédigées neuf ans avant le *Discours de la méthode*. Les *Regulæ* sont comme le premier mouvement de sa pensée profonde sur les mathématiques et sur la question de la certitude de la connaissance en relation à la subjectivité. La « mathesis universalis » y résume, pour ainsi dire, sa philosophie de la connaissance dans ce qu'elle a d'essentiel. Cette étude porte sur les aspects suivants de la pensée de Descartes : les dimensions de la quête de Descartes ; au centre du projet cartésien : l'intelligibilité ; le sens de la mathesis universalis ; construction de courbes et résolutions d'équations ; les fondements de la Géométrie ; lois du mouvement et géométrisation de la physique. La conclusion porte sur la lumière instantanée de la compréhension et le problème de la connaissance. [1997e, 1998c, à paraître, e].

La construction mathématique et la compréhension physique du temps instantané en physique (de Newton à d'Alembert et Lagrange).

L'une des nouveautés les plus remarquables (mais peu signalée) des *Principia*. est l'introduction du *temps instantané* avec l'expression de la loi fondamentale de la dynamique (deuxième loi de Newton). Cependant, dans ses définitions, Newton ne définit le temps que comme le flux de la durée et, même après avoir posé dans le raisonnement ce que nous identifions comme le temps instantané, il n'en formule pas une conceptualisation exacte. D'ailleurs, il n'invoque pas, à son propos, le calcul des fluxions. En fait, il l'invente en proposant sa géométrie infinitésimale et temporelle (mécanique) des « premières et dernières raisons » des grandeurs dans l'étude du mouvement des corps. Après avoir constaté et étudié cette innovation, ce travail en analyse les implications épistémologiques : tout en ayant formulé le temps instantané par des moyens géométriques, Newton ne l'identifie pas exactement comme tel et ne le conçoit pas encore clairement. On rappelle les difficultés d'une telle notion, de Barrow à Newton ; on relève aussi que le « temps absolu et mathématique » représente une condition de création, pour la pensée de Newon, du temps mathématique instantané et, en fait, différentiel. Il s'agit d'une *construction mathématique*, sans la réflexivité qui la reconnaitrait du point de vue physique. Les conceptions néo-platoniciennes de Newton s'accommodaient de cette notion, fondée sur un absolu, guidée par l'idée (issue de la pensée scolastique, voir, p. ex., Roger Bacon) du temps comme durée et flux continu, et liée à une géométrie du mouvement.

Le temps instantané restera, durant de nombreuses années, difficile à concevoir comme une grandeur au même sens que les autres grandeurs de la mécanique, et l'histoire des commencements de cette science réflètera cette difficulté, qui est celle de *penser le temps comme à la fois continu et instantané* (singulier). La conceptualisation du temps se précise grâce à son expression différentielle, mais sans toutefois que les difficultés dues à sa « naissance » soient aussitôt levées. Cet épisode fournit des indications sur le problème de la création de nouveauté en sciences ; cette nouveauté est (rétrospectivement) un fait, présente par sa fonction dans la pensée des problèmes étudiés, même si l'on ne sait pas *a priori* ce qu'elle est, et son identification et sa reconnaissance n'interviendront qu'ultérieurement, et rétrospectivement. On s'attache aussi à la question du rapport entre les premières et dernières raisons des *Principia* et les fluxions, aussi bien concernant les opinions ultérieures sur le sujet, notamment celles de d'Alembert et de Lagrange, que par l'analyse conceptuelle des textes, et en considérant les transcriptions ultérieures des *Principia* en termes de fluxions ou de différentielles. Le passage du traitement newtonien du mouvement mécanique par la géométrie des limites à la formulation analytique par le calcul différentiel peut être vu, notamment avec d'Alembert, comme une *compréhension physique* qui se précise progressivement, jusqu'à sa complète symbiose dans la formulation totalement analytique de la mécanique. On s'interroge, en conclusion, sur le temps et la pensée des phénomènes en mécanique classique. [1994 b et f, à paraître d]. Voir aussi un essai plus général sur Newton : [1995f].

D'Alembert, la science newtonienne et l'héritage cartésien.

J'ai étudié, dans « D'Alembert, la science newtonienne et l'héritage cartésien », les influences intellectuelles reçues par d'Alembert dans sa formation et dans ses premières orientations de travail, qui ont contribué à forger sa pensée dans la direction originale et féconde qu'on lui connait, en mathématiques, en physique et en philosophie. Sa formation fut cartésienne, et il en garderait une conception très cartésienne de l'intelligibilité et de la rationalité des principes de la connaissance. Sa découverte de la science newtonienne détermina la direction de ses recherches dans les voies ainsi ouvertes pour la physique, qui fut celle d'un traitement physico-mathématique de problèmes de dynamique à l'aide de l'analyse (formulée par Newton et par Leibniz : le calcul différentiel et intégral). On peut bien parler d'un double héritage intellectuel de ce pionnier de la physique mathématique, qui marqua son « style scientifique » (lui faisant mathématiser la dynamique sous le signe de ses principes) et sa conception de la physique (une pensée rationnelle de la mathématisation des grandeurs, de la nature des principes et de la portée de la physique mathématique). ([2001j]).

L'œuvre de d'Alembert, en sciences et en philosophie.

J'ai consacré à la pensée et l'oeuvre de d'Alembert un petit livre, lisible par un large public (chez Les Belles Lettres, Paris : [1998a]), dans lequel je m'efforce de tenir compte des connaissances les plus récentes acquises sur le sujet. Cet ouvrage, synthétique, a été utile notamment pour les étudiants en agrégation de philosophie, où d'Alembert a été mis au programme. J'ai également fait le point, pour des lecteurs plus spécialisés, sur les recherches récentes et actuellement en cours sur d'Alembert, sous le titre « *Les recherches actuelles sur d'Alembert. A propos de l'édition de ses* Oeuvres complètes ». Cet article constitue l'une des contributions d'un ouvrage collectif que j'ai organisé en collaboration avec Alain Michel [2001a]. L'article comporte les sujets suivants : Introduction : un nouvel intérêt pour d'Alembert ; l'organisation des *Oeuvres complètes* ; la formation et l'héritage ; le style de l'analyse et les premiers travaux mathématiques ; genèse du principe de la dynamique (ou principe de d'Alembert) ; résistance des fluides et dérivées partielles : vers la physique des milieux continus ; un inédit sur la théorie de la Lune et la précession des équinoxes ; faut-il « désosser » les *Opuscules mathématique*s ? ; l'épistémologie avant la lettre et la pensée philosophique de d'Alembert ; œuvre « littéraire », correspondance, milieux, académies et contemporains. Une bibliographie détaillée le complète [2001d]. Cet essai était aussi une contribution au groupe de travail sur l'édition critique des *Oeuvres complètes* de d'Alembert, dont je fais partie, en préparant, en collaboration, plusieurs volumes de mécanique des solides et des fluides correspondant aux travaux de d'Alembert sur ces sujets de 1741 à 1752.

Principes de la mécanique et analyse chez d'Alembert. Le point de vue conceptuel.

J'ai étudié les rapports, tels que d'Alembert les concevait, entre les principes de la mécanique et la formulation analytique des grandeurs et des lois du mouvement. Le *Traité de dynamique* de d'Alembert (1743) se présente comme

une réorganisation conceptuelle de la mécanique des corps solides (extensible aux objets célestes et aux fluides, selon les développements de son œuvre ultérieure). Tout en reprenant la perspective newtonienne des *Principia*, d'Alembert formule les lois générales du mouvement comme des *principes physiques*, dont son « théorème général de la dynamique » (connu comme le « principe de d'Alembert »), qu'il en déduit directement, constitue en quelque sorte l'expression synthétique. On examine ce qui, du point de vue conceptuel, a permis à d'Alembert de transformer en *principes du mouvement* ce qui était conçu auparavant comme des *lois de la dynamique*, et d'éviter de fonder la dynamique sur le concept de force. Ce sont, d'une part, une pensée des grandeurs d'expression mathématique (inspirée de Descartes) mais caractéristiques du mouvement des corps (où le temps, l'impénétrabilité et l'attraction tiennent un rôle fondamental, en filiation de Newton) ; et, d'autre part, l'expression du caractère continu de ces grandeurs à l'aide de l'analyse différentielle (dans sa formulation par Leibniz et ses disciples). Le concept de vitesse virtuelle vient s'inscrire naturellement dans cette pensée des grandeurs du mouvement, et permet de constituer une « dynamique » comme science des mouvements variés des corps et d'y ramener la statique, science de l'équilibre des corps, elle-même. Cette analyse a été présentée dans plusieurs exposés, notamment en séminaire en 2000 (à Paris et au *Congrès Matemáticas 2000*, Bogotá, Colombie), ainsi que dans un article sous ce titre ([à paraître, z]).

L'origine hydrodynamique du principe de d'Alembert.

L'origine du « principe de d'Alembert » (ou « théorème général de la dynamique ») est traditionnellement rapportée aux problèmes d'oscillation du pendule composé, c'est-à-dire à une question de mécanique des corps solides. Cependant, les premières recherches mécaniques du savant ont porté sur des problèmes de déplacement d'un corps solide dans un fluide : ce sont des mémoires inédits sur la « réfraction de la sphère », présentés à l'Académie des sciences de Paris, en 1741-1742. On pouvait se demander s'il existait un lien direct entre les deux. En examinant ces premiers travaux sur l'hydrodynamique, et en les mettant en rapport avec le *Traité de dynamique* de 1743 ainsi qu'avec la dernière partie du *Traité de l'Equilibre et du mouvement des fluides*, de 1744, il a été possible d'y voir une origine très vraisemblable de la formulation par d'Alembert de son « principe de la dynamique ». Les problèmes de « réfraction » des corps solides dans les liquides étant fort difficiles à traiter d'une manière directe, d'Alembert eut l'idée de prendre en compte les diverses compensations du mouvement occasionné par le corps plongé dans un fluide, mettant en oeuvre l'idée d'un « mouvement détruit », que son principe de la dynamique rapporterait d'une manière générale aux mouvements virtuels dus aux liaisons. La solution véritablement analytique du problème de la résistance des fluides devait venir plus tard dans ses travaux, grâce au traitement par les équations aux dérivées partielles (*Essai d'une nouvelle théorie de la résistance des* fluides, manuscrit

latin de 1749, publié en français en 1752)[22]. Entretemps d'Alembert se contenta de reprendre ces premiers travaux sur les fluides et la réfraction au sein de son *Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides* (1744), où le résultat obtenu est présenté comme une application du principe général de la dynamique avec un modèle (de manière anachronique, puisqu'il en avait précédé l'énoncé et la démonstration). L'analyse des premiers mémoires inédits sur la réfraction fait apparaître l'idée fondamentale qui sous-tend le « principe général » : l'idée de la destruction et de la compensation des mouvements, qui, rapprochée de l'étude des pendules composés, aura guidé l'élaboration du principe général de la dynamique. (Ce résultat a été exposé à des séminaires en 1998, et fait l'objet d'un article en collaboration avec Gérard Grimberg : [à paraître, t]).

Notes sur les vents alizés et sur la résistance des fluides dans les recherches de d'Alembert (Sur quelques aspects de deux Essais soumis aux concours de l'Académie de Berlin en 1746 et 1749).

Les deux ouvrages de d'Alembert, *Réflexions sur la cause générale des vent*s, et *Essai d'une nouvelle théorie de la résistance des fluides*, ont tous deux été soumis aux concours de l'Académie de Berlin, le premier avec succès en 1746, recevant le prix, le second sans succès, en 1749. Ecrits initialement en latin, d'Alembert les traduisit et les publia en français, respectivement en 1747 et 1752. Le sujet du premier est mixte, entre mécanique, astronomie et hydrodynamique ; on montre comment d'Alembert, sans résoudre la question de l'origine des vents alizés, en a néanmoins fourni, sans le savoir, l'instrument mathématique. Le sujet du second ouvrage est tout entier l'hydrodynamique comme science analytique. D'Alembert met en oeuvre, pour la première fois, dans une partie du premier ouvrage, et dans tout le second, sa nouvelle méthode des équations aux dérivées partielles, en développant des concepts physiques appropriés qui inaugurent la physique des milieux continus et préparent la théorie du champ. On conclut sur la créativité scientifique exceptionnelle de d'Alembert. (Cette étude a été exposée lors d'une *Journée « D'Alembert à Berlin »*, à l'Ecole Normale Supérieure, en novembre 2001 ; [à paraître, bb]).

L'élément différentiel de temps et la causalité physique dans la dynamique de Alembert

Dans sa conception de la dynamique comme science des changements des mouvements des corps, d'Alembert se propose d'exprimer ces changements dans les seuls termes des grandeurs du mouvement. Il établit la possibilité de les concevoir ainsi physiquement, en relation à leurs causes effectives, sans recourir à des concepts externes comme les forces, en posant la co-naturalité de la cause physique et de ses effets, que traduit la notion d'accélération instantanée, dont la signification physique est liée à la forme différentielle de la grandeur temps, ainsi qu'au concept de mouvement virtuel. C'est cette construction d'une causalité temporelle physique, et l'usage corrélatif de l'analyse différentielle pour penser et

[22] Cet essai de 1749-1752 a fait par ailleurs l'objet d'une étude presque exhaustive par Gérard Grimberg, comme sujet de sa thèse d'épistémologie et histoire des sciences, effectuée sous ma direction (soutenue en 1998), sujet sur lequel je l'avais lancé.

mettre en rapport entre elles les grandeurs du mouvement, qui lui permettent d'énoncer en forme de principes les lois générales du mouvement, et de réorganiser conceptuellement la mécanique newtonienne. Dès lors, la loi fondamentale de la dynamique ne sera plus la seconde loi de Newton, mais le « principe de la dynamique » formulé pour des systèmes quelconques de corps en interaction, conséquence et synthèse des trois principes fondateurs. Ce faisant, l'impulsion d'une mathématisation totale de la mécanique était donnée, tout en rendant très explicite le caractère physique de cette science. Nous insistons, dans ce travail, sur les aspects qui touchent à la conceptualisation physique rendue possible par l'analyse, concernant notamment le temps, l'accélération et les grandeurs dérivées, ainsi que les particularités conceptuelles liées à leur représentation géométrique. [à paraître,f].

Préfaces, découverte et signification dans les Traités scientifiques de d'Alembert

On examine diverses préfaces, introductions ou discours préliminaires rédigés par d'Alembert comme présentation générale de ses divers traités scientifiques. Il s'agit des préfaces aux deux éditions du *Traité de Dynamique* (1743), de la double préface aux *Réflexions sur la cause des vents* (1747), des préfaces aux traités d'hydrodynamique (1744, 1749-1752), aux ouvrages d'astronomie mathématique. (1749, 1753), ainsi qu'aux *Opuscules mathématiques*. Cette enquête est complétée par des remarques sur les textes-préfaces de propos directement philosophiques que sont le *Discours préliminaire de l'Encyclopédie* (comme préface à la grande entreprise collective) et la préface à l'*Essai sur les éléments de philosophie*. Cette analyse s'attache, en particulier, à la manière dont d'Alembert situe et interprète la portée de ses propres découvertes notamment en hydrodynamique, sans nécessairement insister sur les aspects qui paraissent à nos yeux les plus importants (tels que l'invention et l'application du calcul aux dérivées partielles). La valorisation ou, au contraire, la non-valorisation, de ces innovations est un révélateur des significations qu'il attache à ses résultats et du rapport - parfois de la distance - entre l'heuristique de son style physico-mathématique et son épistémologie. (Exposé à un séminaire, article [à paraître,dd]).

La réflexion critique sur les concepts ou l'épistémologie avant la lettre chez d'Alembert

La conception cartésienne de l'intelligibilité est reprise au siècle des Lumières, malgré les transformations profondes des sciences et de la philosophie. Poursuivant mes études sur la pensée de d'Alembert, et notamment en ce qui concerne les sciences physico-mathématiques, où le rapport entre les concepts physiques et leur expression mathématique se fait de plus en plus étroit et devient rapport de constitution, j'examine le rapport entre le mode de travail théorique (mathématisation par l'analyse différentielle) et la réflexion critique qui l'accompagne. Cette dernière s'efforce d'établir les conditions rationnelles d'une formulation mathématique des grandeurs physiques et des lois de la nature, et met en valeur la préséance des principes physiques. Cette analyse critique des concepts est liée à une « métaphysique » renouvelée des connaissances, participant du rejet de la « métaphysique des systèmes », et se portant, de Locke à

Kant, vers l'étude des modalités et des conditions de la connaissance. Parallèlement aux transformations qui s'accomplissaient dans les sciences physico-mathématiques, d'autres exigences épistémologiques se manifestaient pour d'autres sciences en formation, comme les sciences de la vie, parfois dans un climat d'émulation avec les premières. Les nouveaux objets de science qui apparaissaient suscitaient leur propre légitimation, définissant leurs *epistême* particulières. Les savants qui se voulaient aussi « philosophes » examinaient ainsi leurs sciences respectives, leurs objets et leurs domaines de pertinence et de validité, leurs concepts, leurs méthodes. Ces circonstances inaugurèrent une transformation profonde de la pensée du rapport des sciences à la philosophie, en suscitant une approche « philosophique » d'un type nouveau, l'examen critique des connaissances scientifiques considérées selon leur spécificité. Un domaine commun d'appartenance se déterminait ainsi entre des sciences et une philosophie désormais plus autonomes : on peut l'appeler *épistémologie*, bien que le terme n'existât pas encore. D'Alembert en fut l'initiateur le plus significatif pour les sciences physiques et mathématiques. ([1998a et b]).

Addition (janvier 2008). D'Alembert et la mathématisaton de la physique au XVIIIe siècle.

Jean d'Alembert, mathématicien, physicien (« Géomètre », comme on disait au XVIIIe siècle), philosophe et encyclopédiste, occupe une place spéciale dans les développements de la mécanique analytique, juste avant Lagrange, qui fut son disciple et celui d'Euler, et dans la ligne ouverte par les *Principia* de Newton. Mais, loin d'être un simple continuateur qui aurait « travaillé dans le paradigme newtonien », il reprit à sa manière, très originale, la conceptualisation de la mécanique, en donnant à la dynamique (terme repris de Leibniz), une formulation analytique dans le « style » du nouveau calcul différentiel et intégral. La méthode analytique héritée de Descartes et ainsi transformée lui permit de penser physiquement les grandeurs continues d'expression mathématique, et notamment de donner ainsi la loi de *causalité physique* telle qu'on l'entend depuis lors, ainsi que le *principe fondamental de la dynamique*, permettant d'élargir la mécanique de la considération des points matériels à celle des corps solides quelconques, à l'hydrodynamique et aux corps célestes en attraction mutuelle. Outre son œuvre pionnière dans ces trois domaines (sans omettre ses travaux en mathématiques pures), d'Alembert se préoccupa de manière très précise de la signification des concepts et de la justification de leur traitement comme des grandeurs. Il s'attacha notamment à la question de la mathématisation des divers domaines de la dynamique abordés et de sa justification. Tout en se situant dans une tradition qui intègre les apports de Descartes, de Leibniz et de Newton, il propose une vue pénétrante, neuve et appelée à une prospérité féconde, de ce qu'est une physique mathématisée.

(Fin de l'addition de janvier 2008).

Des sciences physico-mathématiques à la physique mathématique au XVIIIe siècle

J'étudie sous ce titre les transformations qui accompagnent, au XVIIIe siècle, les changements de conceptions et de terminologie relatifs au traitement

mathématique de la physique. La terminologie est parfois en retard sur la pensée et le travail effectifs, puisqu'on ne peut plus vraiment parler avec Euler, Clairaut, d'Alembert, de « mathématiques mixtes » (encore mentionnées dans le *Discours préliminaires de l'Encyclopédie*, par emprunt à Francis Bacon), mais bien de « sciences physico-mathématiques », comme les appelle de plus en plus d'Alembert. Ces dernières se constituent sous le signe d'une greffe de la physique newtonienne et du calcul différentiel leibnizien, dans un univers intellectuel marqué par la rationalité cartésienne et se donnant comme une pensée « laïcisée » de la mathématisation. Elles se transforment progressivement, par l'analytisation des diverses disciplines et leur unification à la mécanique (la mécanique des solides par le « principe de d'Alembert » et le calcul différentiel et intégral, l'astronomie physique par la solution du problème des trois corps, l'hydrodynamique par le calcul au dérivées partielles), en « physique mathématique ». L'avènement de cette dernière peut être situé avec la *Mécanique analytique* de Lagrange, encore restreinte à la mécanique, mais en possession des conditions de son ouverture à d'autres domaines de la physique (qui prépareront en même temps les modalités d'une « physique théorique »). (Cours).

Une métaphysique du mouvement au temps de d'Alembert. La « théorie physique » du monde du Chevalier François de Vivens

Le chevalier François Labat de Vivens (1697-1780), érudit et gérant ses terres à Clairac dans l'Agenais, était également versé en économie politique et en agronomie, sur lesquelles il produisit un ouvrage important. D'origine protestante, il écrivit aussi un livre sur la tolérance. Membre de l'Académie de Bordeaux, une des plus notables de l'époque, d'esprit encyclopédiste, ami de Montesquieu et lié au chevalier de Jaucourt, ce parfait représentant de l'esprit des Lumières s'intéressait également à la physique, effectuant de nombreuses observations, notamment météorologiques, et s'efforçant de formuler une théorie systématique de l'ensemble des phénomènes physiques basée sur des « principes du mouvement ». Mais, curieusement, à l'époque du *Traité de dynamique* de d'Alembert, c'est un projet métaphysique qui guide la physique de Vivens, où matière passive et mouvement immatériel sont deux principes duaux à partir desquels sont déduites toutes les propriétés des corps et celle de l'univers lui-même, et la lumière apparait comme la raison profonde de la gravitation universelle. Cette construction « métaphysique » systématise des vues conçues antérieurement en rapport au vol des oiseaux et à la locomotion aérienne. (Texte publié dans un ouvrage offert à Anne-Marie Chouillet pour son 80e anniversaire). [2002e]

Physique et analyse.

La question de l'adéquation des mathématiques et de la physique n'a de sens que lorsqu'on la considère selon les circonstances où elle se manifeste. Ce qui est en rapport, ce n'est pas les mathématiques conçues comme un schème idéal et éternel, ni la physique dans toute sa généralité, mais le système que les mathématiques et la physique font, à une période historiquement déterminée. C'est pourquoi il est essentiel, lorsque l'on a en vue cette question, de l'aborder aussi sur le plan historique.

La recherche de nature historique entreprise sous le titre *Physique et analyse* est sous-tendue par la question épistémologique du rapport des mathématiques et de la physique. L'argument général porte sur le rôle des mathématiques, en particulier du calcul différentiel et intégral et de son élaboration même (y compris ses transformations) dans la constitution de la théorie physique. Cette dernière est considérée dans ses différentes étapes, qui vont de l'élaboration de la mécanique analytique et rationnelle (de Newton à Lagrange: première partie) jusqu'à la théorisation des autres domaines de la physique au dix-neuvième siècle (physique théorique et physique mathématique) et à la théorie de la relativité, restreinte et générale, au début du vingtième siècle (deuxième partie). Une attention particulière est portée aux aspects philosophiques de ces questions, qui concernent les conditions de l'élaboration des théories physiques et mathématiques aussi bien que l'incidence des nouvelles doctrines scientifiques sur les idées philosophiques.

La première partie, *Des sciences physico-mathématiques à la physique mathématique au XVIIIe siècle*, s'attache à la mathématisation (et à la « rationalisation ») de la mécanique en conjonction avec les développements du calcul différentiel et intégral. J'y aborde les questions de l'invention, de l'application, de l'assimilation et du développement du calcul différentiel et des formalisations mathématiques qui lui sont reliées (comme le calcul des variations), en relation à leur mise en œuvre corrélative dans des problèmes de dynamique et d'astronomie, marquée par la construction et l'unification de la mécanique, de Newton et Leibniz à d'Alembert, Euler et Lagrange. Ce travail s'inscrit dans la suite de mes anciennes recherches sur le XVIIIe siècle, étendues à la seconde moitié du XVIIe.

La deuxième partie se rattache à mes recherches sur l'histoire et la « préhistoire » de la théorie de la relativité, et comprend des études sur l'optique des corps en mouvement, l'électromagnétisme, la thermodynamique et l'astronomie au XIXe siècle.

Ces recherches, en cours, font actuellement l'objet de plusieurs articles (à paraître), de direction d'ouvrages et de thèses, d'enseignements au DEA d'épistémologie et d'histoire des sciences à l'Université Paris-7 (1993, 1994), et en pós-graduação à l'Université de São Paulo, Brésil (1995), du livre (recueil d'articles), *Retour à d'Alembert* [Lep, a], et d'un projet de livre sur *La physique et l'analyse*.

II.3.3. (E) TRAVAIL SCIENTIFIQUE ET PENSEE PHILOSOPHIQUE. LA PENSEE DES « SAVANTS-PHILOSOPHES » DES XIXe ET XXe SIECLES

Le rapport entre la pensée scientifique dans le travail de recherche et la réflexion épistémologique des savants, notamment chez les physiciens, est riche d'indications sur les dimensions de la science, sa visée, ses procédures, et la part qui y revient à l'activité critique ; il contribue à éclairer les chemins de la découverte scientifique, et permet de confronter les « styles scientifiques » des savants et leurs conceptions profondes sur l'objet de leur science et la nature de la connaissance. Cela vaut pour la plupart des savants qui ont laissé des écrits. La pensée de ceux que l'on a appelé les « savants-philosophes », du XIXe et du XXe siècles, est particulièrement indiquée pour manifester la nature des rapports entre science et philosophie, puisque les deux préoccupations y sont conjuguées en une seule personne. D'Alembert en était un, dans le contexte du dix-huitième siècle. André-Marie Ampère, Bernhard Riemann, Hermann von Helmholtz, Heinrich Hertz, Ludwig Boltzmann, Ernst Mach, Pierre Duhem, Henri Poincaré, Albert Einstein, et d'autres, fournissent, eux aussi, à cet égard des témoignages d'autant plus instructifs qu'on les considère effectivement, à juste titre, comme des savants-philosophes. D'autres styles de pensées de savants qui sont moins philosophes par l'esprit ou par la formation n'en sont pas moins très instructifs, comme c'est le cas pour Henry Le Chatelier, Pierre Curie, Paul Langevin….

Je ne détaillerai ci-dessous que certains d'entre eux, que j'ai davantage étudiés que les autres. Je mentionne cependant une brève étude sur Le Chatelier ([1985j]), et des analyses de certains aspects des pensées de Riemann et de von Helmholtz, entre autres, sur la géométrie, en relation à la question de sa nature par rapport à la réalité physique, ravivée après eux par la Relativité générale d'Einstein : sur Riemann : [1993a], chapitre 6, [1998e, 2001n] ; sur von Helmholtz : [1993a], chapitre 6, [1998e].

Les épistémologies d'Ernst Mach et de Pierre Duhem

J'ai abordé l'étude de l'épistémologie de Mach dans un premier temps en la comparant avec celle de Duhem, et ensuite en examinant son rôle dans la formation de la pensée d'Einstein. (Voir aussi les brefs essais de profil intellectuel de chacun d'eux, respectivement [1985f] et [1994h]).

Malgré des différences marquées, bien des raisons invitent à rapprocher les oeuvres de Mach et Duhem. C'est, tout d'abord, une certaine parenté de leurs recherches en physique, à la jonction de plusieurs discipline où se profilent des terres nouvelles à défricher (en particulier, la psycho-physique pour Mach et la chimie-physique pour Duhem) et un même accent mis sur l'importance de la thermodynamique. C'est, ensuite, une même attitude critique à l'égard de la mécanique qui a dominé leurs analyses épistémologiques. C'est, enfin, le contenu de leurs philosophies de la connaissance qui, bien que fort différentes dans la forme et dans l'intention, présentent de nombreux points de convergence. Chez chacun d'eux, la pensée physique et les conceptions philosophiques entretiennent un lien étroit, dont j'ai essayé de caractériser la nature (c'est celle d'une implication réciproque plutôt que d'une dépendance de l'une à l'autre). La parenté et la différence des programmes épistémologiques respectifs de Mach et de Duhem se manifestent dans leurs manières d'aborder des questions aussi capitales que l'analyse structurelle des théories, le statut de la réalité, le rapport de la

science (et de la philosophie des sciences) à la métaphysique. [1986c].

J'ai repris plus tard l'étude de l'épistémologie d'Ernst Mach, en donnant deux exposés en 2000. L'un, « *De la critique des concepts d'espace et de temps de la physique classique au " principe de Mach " : L'influence de la pensée de Mach sur Einstein* », présenté à la *Journée de travail Physique et Physiologie, Physiologie et Cognition (Mach, Helmholtz etc.)* organisée à Strasbourg (le 9 juin 2000), correspond à l'étude relative à Mach dans mon livre *Einstein philosophe* ([1993a], chap. 8). L'autre exposé, sur « *Ernst Mach, les concepts physiques et leur forme mathématique (Une minimisation de la portée des mathématiques en physique)* », était une contribution au *Symposium Physique et physiologie chez Ernst Mach (1838-1916)*, Académie Helmholtz et Université Catholique de Louvain-la-Neuve, les 12 et 13 octobre 2000. C'est un nouveau travail qui se situe dans prolongement de l'essai sur Mach et Duhem. J'y développe l'idée suivante. Pour comprendre la pensée d'Ernst Mach sur les concepts physiques, notamment dans leur rapport à leur forme mathématique, il faut la replacer dans ses conceptions générales sur la connaissance, et en particulier sur la perception et sur l'observation. Je rappelle donc tout d'abord le lien, selon Mach, de la perception à la connaissance (inspiré par son œuvre scientifique propre), la réduction psycho-physique et le pied d'égalité sur lesquel il place la physique et les autres sciences. J'analyse ensuite la manière dont il conçoit et organise l'expérience, en abordant successivement le lien entre l'observation et la connexion sensorielle, la généralisation par le principe de continuité, le rôle et l'importance des « expériences de pensée », puis sa conception de l'organisation économique des faits, et d'un accès direct aux concepts et aux principes. Son point de vue sur la mécanique comme théorie, ainsi que sur la thermodynamique et ses principes, sont exemplaires à cet égard. J'examine sa critique des abstractions, de la théorie et des concepts, et le rôle exact que tiennent, dans sa pensée de la physique, les mathématiques. Mach portait un grand intérêt à ces dernières, dont il était très informé des développements récents, les mettant, pour ce qui est de la connaissance, à égalité avec l'étude de la nature, et interrogeant leurs rapports avec le sensible. Cependant, il voyait le rôle des mathématiques, en ce qui concerne la physique, comme celui d'auxiliaire et non d'intermédiaire constituant les concepts et leurs relations (à la différence des conceptions de physiciens théoriciens qui lui étaient contemporains comme Maxwell, Hertz, Boltzmann, plus tard Einstein). Cette « minimisation » du rôle des mathématiques en physique a partie liée à sa doctrine de la perception et de l'observation. On peut estimer que ses conceptions sur ce point ont eu une influence, diffuse et indirecte, mais considérable, sur les débats d'interprétation en physique qui ont eu cours au XX è siècle. [à paraître,h].

J'ai également repris l'étude de la pensée de Duhem pour un séminaire à l'Ecole Normale Supérieure (« Duhem et la théorie physique », déc. 2003) et une conférence à un Colloque sur Pierre Duhem à Bordeaux (« Théorie physique et mathématisation chez Pierre Duhem », décembre 2003).

Henri Poincaré. Géométrie, physique et philosophie

Mes études sur la pensée physique et philosophique d'Henri Poincaré (voir aussi l'article de synthèse écrit avec Christian Houzel ([1997g]), sont menées dans le même esprit que mon travail *Einstein philosophe* [1993a]. J'ai d'ailleurs abordé, dans cet ouvrage, la pensée de Poincaré dans ses relations à celle d'Einstein (chap. 2, 8 et 9). J'avais déjà étudié, dans une recherche antérieure [1985o, 1987b], certains aspects des contributions de Poincaré à la théorie de la relativité (ou plutôt à la dynamique relativiste), qui éclairaient le contexte de la réception ultérieure de la théorie en France. L'étude comparative des travaux et des conceptions d'Einstein et de Poincaré s'est avérée particulièrement riche, tant en ce qui concerne l'électrodynamique et le principe de relativité que les rapport entre la physique et la géométrie, ainsi que, en philosophie, sur la question de l'intuition créatrice en science et le rapport entre convention et réalité.

J'ai prolongé ces analyses dans plusieurs articles, approfondissant notamment l'examen des travaux et des idées de Poincaré concernant l'optique et l'électromagnétisme (puis la gravitation), où l'on voit l'importance du principe de relativité dans sa conception de la physique mathématique, qui permet de suivre ses efforts pour obtenir une théorie électrodynamique des corps en mouvement très proche à plusieurs égards de celle d'Einstein, bien que différente du point de vue de la structure théorique. On voit également la prégnance de sa pensée géométrique dans son travail en physique. J'ai pu éclairer de la sorte la parenté et la différence de son travail avec celui d'Einstein (il pense la covariance comme résultant de la dynamique et non l'inverse), et j'ai montré l'évolution de sa pensée après 1905 (sans nommer Einstein, il se rapproche de ses vues sur l'espace-temps qu'il n'avait lui-même considéré que de manière formelle) [1992e, 1996d, à paraître,a]. Il est notable, d'autre part, que, après la Relativité générale, le « style » théorique d'Einstein s'est infléchi dans un sens où la formalisation mathématique prend une importance particulière du point de vue de la physique, rejoignant ainsi, d'une certaine façon, l'intuition profonde d'une heuristique proposée par Poincaré [1996d].

Ces études concernent aussi en partie la pensée mathématique de Poincaré, puisque chez ce dernier la pensée physique est étroitement liée à pensée mathématique ; en particulier, ses *conceptions sur la géométrie* ont directement à voir avec celles sur le mouvement, que j'étudie à propos du principe de relativité (voir, sur ce point, [1992e] et [1993a], chap. 6) ; d'autre part, le formalisme mathématique de la théorie physique possède un rôle heuristique. Le trait peut-être le plus remarquable de la conception de Poincaré est que son attention privilégiée pour la forme mathématique n'est pas exclusive d'une préoccupation directe pour la spécificité du domaine physique considéré et pour le contenu proprement physique des concepts, précisément parce qu'il conçoit cette forme comme un outil puissant d'exploration en profondeur de la réalité physique. C'est pourquoi *sa physique mathématique est aussi bien une physique théorique* à proprement parler. L'étude des travaux scientifiques et des écrits philosophiques de Poincaré permet de comprendre sa manière propre de mettre en œuvre et de concevoir le lien entre science et philosophie.

Je m'attache également à l'examen de sa philosophie de la connaissance, à sa conception des principes et de la physique mathématique, du rôle de l'analogie, et

de son « conventionalisme » qui va, dans sa pensée de la physique, de pair avec une vue empiriste. Ces thèmes sont étudiés dans les études décrites ci-dessous. L'ensemble de ces études sur Poincaré est conçu pour former un livre, *Empirisme et convention. Géométrie, physique et philosophie chez Henri Poincaré* [Lep, c]. Un petit livre synthétique de divulgation est également en chantier, sous le titre *Henri Poincaré, l'éclair de la pensée* ([Lep, b]).

Dans « *Poincaré et le principe de relativité* », augmenté de « *Poincaré et la relativité des mouvements pour l'optique* », je traite en premier lieu des caractères du principe de relativité physique et des problèmes qu'il soulève, selon les conceptions de cet auteur et dans ses premiers travaux sur le sujet, de la mécanique à l'optique et à l'électromagnétisme ; puis de sa mise en évidence et de son rôle dans la formulation relativiste de la théorie physique qu'il a proposée, indépendamment du travail d'Einstein, de la dynamique de l'électron à la gravitation. J'analyse ensuite le statut et la fonction du principe de relativité selon Poincaré, en relation au concept d'éther, en comparaison avec les autres principes de la physique, mais également en ce qui concerne le rapport du principe de relativité des mouvements en physique à la relativité de l'espace de la géométrie. On relève que ce principe s'inscrit dans une pensée de la dynamique (électromagnétique) qui détermine la condition de covariance. Se pose en outre la question de savoir si le principe de relativité est restreint, chez lui, aux seuls mouvements d'inertie, tout en procédant à une comparaison de la relativité au sens de Poincaré et au sens d'Einstein, en ce qui concerne son origine, sa fonction et sa signification, ainsi que la place du principe dans la structure de la théorie. Je montre, en particulier, que c'est la question de la dynamique qui caractérise le mieux la différence de l'approche de Poincaré par rapport à celle d'Einstein ; pour ce dernier, en effet, la dépendance a lieu en sens inverse (la covariance s'impose à toute dynamique). On peut s'interroger enfin sur la question d'une éventuelle évolution de la pensée de Poincaré qui aura pu lui faire prendre en compte ultérieurement certains aspects du point de vue d'Einstein - quand nous savons, par ailleurs, que la réciproque est évidente, du moins quant à l'importance d'un point de vue formel pour la théorie physique, considérée par Einstein, à la suite de Poincaré, et consécutivement à la découverte de la relativité générale. ([1996d ; à paraître,a]). Un autre article, résumé plus loin, examine les rapports entre les conceptions de Poincaré, Langevin et Einstein ([2002c]).

L'essai sur « Les analogies mathématiques au sens de Poincaré et leur fonction en physique » présente une analyse de l'idée d'analogie telle que Poincaré l'invoquait fréquemment, à propos des phénomènes et des lois de la physique : ce n'était pas celle, superficielle, de l'apparence, des images ou des modèles. C'était, très précisément, « l'analogie mathématique », l'analogie dans la forme que donne l'analyse (mathématique), cette analyse qui permet à la physique d'appréhender « les analogies de l'expérience » dont parlait Kant, à partir desquelles nous pouvons établir les lois générales des phénomènes. Les conceptions de Poincaré sur la « physique mathématique » et sur la nature de la théorie physique sont étroitement liées au rôle fonctionnel de l'analogie, qui, à travers le travail sur la forme (mathématique), atteint la structure des phénomènes. En même temps, l'analyse et l'intuition apparaissent implicitement liées dans la

pensée, en physique aussi bien qu'en mathématiques. (Voir [à paraître g] et un chapitre non paru en article du livre annoncé [Lep, c]).

La physique mathématique au sens de Poincaré inclut la physique théorique, mais comprend aussi une heuristique par la formalisation mathématique. Les principes physiques, dont l'origine est expérimentale, sont ensuite pris pour guides dans la formulation des théories physiques et passent, en acquérant le caractère de la généralité, au rang de convention commode et féconde. L'extension de la validité des principes, qui s'effectue, chez Poincaré, sur un mode plus empirique qu'axiomatique, détermine l'extension du type de mathématisation des théories physiques dont la mécanique analytique de Lagrange et Hamilton constitue l'archétype, et qui est la physique mathématique à proprement parler. Ces traits de l'épistémologie en acte de Poincaré sont mis en évidence à partir de l'étude de ses travaux, sur la dynamique des systèmes, sur le principe de relativité en électrodynamique et sur la thermodynamique, et confrontés à sa philosophie, qui est un mixte d'empirisme et de conventionalisme. Cette analyse est donnée dans un article sur « *La place des principes dans la physique mathématique au sens de Poincaré* ». Il y est question de l'approche physico-mathématique sous le signe des équations différentielles ; de la forme mathématique dans son accord à la description des phénomènes, c'est-à-dire la constitution d'un style original en physique théorique ; de la structuration mathématique des théories physiques, et enfin de la contribution de Poincaré aux théories des phénomènes physiques (physique théorique). ([1999b]).

Je mentionne une brève communication sur la pensée mathématique et physique telle qu'on peut la saisir dans les démarches respectives de Poincaré et d'Einstein en direction d'une théorie relativiste de la gravitation, qui préfigure une étude plus détaillée en projet ([1996k, 1997p]).

Enfin, j'ai participé, en collaboration avec les Archives Poincaré (Nancy) au groupe de travail pour l'édition de la correspondance de Poincaré avec les physiciens, en cours de réalisation, constitué de André Coret, Jean Louis Greffe, Arthur Miller, Scott Walter et moi-même.

Paul Langevin.

Je mentionne, pour mémoire, un article paru dans la revue *Scientia* en 1973 sur « Science et humanisme chez Paul Langevin » ([1973g et h]). J'ai étudié par la suite les contributions de Langevin à la physique dans le contexte de la genèse de la théorie de la relativité, puis son interprétation propre de cette théorie qu'il fut l'un des premiers à accepter et ses interventions pour la promouvoir, dans un travail sur les contributions de Poincaré et Langevin aux idées relativistes (« *Invention et réception d'une nouvelle théorie et tradition scientifique : le cas de la relativité restreinte et des savants français Poincaré et Langevin* »), prolongé par un autre sur « *La réception scientifiique de la relativité en France* » ([1985o, 1987b]).

Dans l'article « *Paul Langevin (1872-1946), la relativité et les quanta* », j'examine la formation et le profil scientifique du physicien français, entre l'expérience et la théorie, puis la manière dont il conçoit les nouveaux

phénomènes sur la constitution des corps et le « fondement électromagnétique de la matière » ; son approche de la théorie de la relativité restreinte, interprétée comme dynamique électromagnétique ; les phénomènes quantiques, puis son interprétation de la mécanique quantique. (Paty [1999f]).

Dans « *Poincaré, Langevin et Einstein* », je développe l'argument suivant. Henri Poincaré (1854-1913), Paul Langevin (1871-1946) et Albert Einstein (1879-1955) se sont intéressés en physique théorique à des sujets voisins dont ils ont proposé des approches différentes, parfois convergentes quant aux résultats. Après un rappel de leurs relations mutuelles, on s'attache à un examen comparatif de deux aspects de leurs contributions, qui permet de mettre en évidence leurs « styles » particuliers, liés à leurs épistémologies respectives. En physique des électrons, et dans sa première conception de la théorie de la relativité, Langevin pourrait à première vue être considéré comme ayant une approche intermédiaire entre celle de Poincaré et celle d'Einstein. On est d'ailleurs tenté de se demander s'il n'a pas, en définitive, contribué à rapprocher Poincaré du point de vue d'Einstein. Leurs thèmes communs de recherche ou de préoccupation permettent de caractériser trois attitudes différentes par rapport à l'unité des phénomènes en relation à la possibilité d'unifier les théories physiques. On peut les résumer comme étant celle d'une diversité empirique pour une unité formelle autour de principes physiques (Poincaré), celle d'une unité de principe accomplie par des « modèles théoriques » (Langevin), et celle d'une pensée du rapport de la théorie et de son objet aboutissant à une unification par les principes physiques (Einstein). ([2002c]).

J'ai également étudié la conception de Langevin sur l'interprétation de la mécanique quantique, dont j'ai largement fait état dans mon livre *La matière dérobée* ([1988a] : voir plus loin). J'envisage de préparer une édition critique des textes de Langevin concernant l'interprétation de la mécanique quantique, en collaboration avec Olival Freire, mon ancien élève de doctorat, ainsi que concernant la relativité.

Albert Einstein

Einstein est assurément l'un des auteurs que j'ai le plus étudiés et qui m'a le plus inspiré dans l'élaboration de mes propres conceptions sur la connaissance en physique. Je mentionne tout d'abord un certain nombre d'articles sur sa vie, sa pensée, son oeuvre, publiés au long des années, et sur lesquels je ne reviendrai pas : [1979i, 1980h, 1981c, 1984g, 1985h, 1985m, 1986e, 1993e,f,i, 1994d, 1995g,j]. Je détaillerai dans ce qui suit quelques uns de mes travaux que j'estime les plus originaux.

Le livre *Einstein philosophe* porte dans son titre même et dans son sous-titre (*La physique comme pratique philosophique*) ([1993a]) l'intention première qui a présidé à sa composition : montrer qu'Einstein peut être considéré comme un « savant-philosophe », dans la lignée des Helmholtz, Hertz, Kirchhoff, Mach, Boltzmann, Poincaré, Duhem, malgré des différences évidentes dans son « style scientifique » et dans ses positions philosophiques. Mais aussi que la physique (parmi les sciences), en tant qu'elle est pensée, partage plusieurs traits fondamantaux que l'on attribue en général à la philosophie, et que les deux se

rejoignent parfois de manière extrèmement étroite et significative. Cet aspect n'est pas si souvent perçu, notamment à propos d'Einstein, en raison peut-être de ce que son oeuvre scientifique a eu, dans le champ philosophique, des répercussions considérables, indépendamment des intentions de l'auteur. Mais, de fait, l'aspect philosophique de l'oeuvre d'Einstein concerne en premier lieu sa propre pensée, et non pas seulement l'effet du contenu scientifique de cette oeuvre sur la pensée des philosophes.

Il se marque, d'une part, dans le mouvement même d'élaboration de sa pensée scientifique où construction théorique et critique épistémologique sont étroitement imbriquées. Einstein avait pleinement conscience de la dimension immédiatement philosophique de ses recherches, dont le style même de ses travaux est marqué, par son souci de ce qui est fondamental, constamment présent, et visible dès ses premiers articles. Son oeuvre, qui se propose d'aller directement à l'essentiel quant à la structure profonde de la nature et quant à la méthode de pensée employée pour y parvenir, peut être vue comme une "pratique philosophique". C'est à le montrer que sont consacrés plusieurs des chapitres du livre *Einstein philosophe*, complétés par *Einstein, les quanta et le réel* ([à paraître,A], à partir de l'étude de ses travaux sur la Relativité restreinte, la Relativité générale, la physique quantique.

D'autre part, Einstein a exprimé directement et de manière explicite, dans des textes, articles ou lettres, sa philosophie, qu'il s'agisse de ses conceptions épistémologiques sur les théories concernées, p. ex., sur les concepts d'espace et de temps, sur les rapports de la géométrie à la physique à propos de la Relativité générale, sur la nature des phénomènes et de la théorie quantiques, ou qu'il s'agisse d'aspects plus généraux de la philosophie de la connaissance (en particulier, le rapport de la pensée conceptuelle au réel). L'étude de cette philosophie de la connaissance fait l'objet des chapitres 8 et 9 du livre *Einstein philosophe*, respectivement sur « Parcours épistémologique » et « Construction théorique et réalité ».

Mais si j'insiste ici sur ces aspects, ce n'est pas que l'oeuvre physique proprement dite d'Einstein ne soit pas présente dans mon livre, bien au contraire. J'ai étudié ses travaux scientifiques sur l'électrodynamique, la relativité, la gravitation, en mettant en relation leurs aspects historiques, épistémologiques et philosophiques dans plusieurs chapitres. Je me suis intéressé, en particulier, à la genèse de ses idées sur la relativité restreinte et sur la relativité générale, en mettant en évidence la signification et le rôle des principes physiques dans leur rapport à la théorie et à l'expérience (principe de relativité, constance de la vitesse de la lumière pour la relativité restreinte ; principe d'équivalence, « principe de Mach » et leur lien à la covariance, pour la relativité générale et la cosmologie), ainsi qu'à la place de la pensée mathématique dans ces élaborations (notamment en ce qui concerne le formalisme d'espace-temps quadrimensionnel et le calcul tensoriel pour l'élaboration de la relativité générale: (chapitres 2 à 5). J'ai étudié également la pensée d'Einstein concernant les rapports de la physique et de la géométrie, en la situant dans la perspective des débats antérieurs et contemporains, tant scientifiques que philosophiques (chapitres 6 et 7).

D'autres aspects de la pensée d'Einstein sont étudiés par ailleurs dans plusieurs textes : « *La responsabilité des scientifiques* » [1986f], « *Einstein et Spinoza* » [1983d, 1985g, 1986a, 1988e], « *Einstein et la pensée de Newton* » [1987e], etc.

Dans la suite de mes recherches sur Einstein, la physique et la philosophie, j'ai effectué plusieurs études nouvelles qui prolongent les précédentes. Dans un petit livre de vulgarisation, j'ai voulu donner une approche synthétique destinée à un large public, écrite de telle sorte que l'on ait une rencontre immédiate avec les divers aspects de la pensée d'Einstein, telle que je l'ai intimement fréquentée au cours de mes recherches spécialisées. Je l'ai placé sous les deux thèmes de la cosmologie comme « invention du monde » dans son déploiement, d'une part, qui constitue finalement l'horizon ouvert par sa théorie de la relativité générale, et de la (libre) création scientifique, d'autre part, qui contitue en fait l'axe de la pensée épistémologique d'Einstein. Le titre complet exprime cette intention : *Einstein ou la création scientifique du monde* ([1997a]).

Dans plusieurs articles, j'explore plusieurs aspects thématiques de portée générale sur le travail et la pensée d'Einstein ayant à voir, en particulier, avec la question de l'invention scientifique. Je suis revenu sur le parallèle entre Poincaré et Einstein, d'une part à propos de leurs styles scientifiques respectifs, d'autre part en examinant, comme je l'ai indiqué plus haut, les rapports entre les conceptions de Poincaré, Langevin et Einstein ([2002c]).

Il est notable que, après la Relativité générale, le « style » théorique d'Einstein s'est infléchi dans un sens où la formalisation mathématique prend une importance particulière du point de vue de la physique, rejoignant ainsi, d'une certaine façon, l'intuition profonde d'une heuristique proposée par Poincaré. Dans *« Le style d'Einstein, la nature du travail scientifique et le problème de la découverte »*, je développe l'argument suivant. Il semble que la science, au sens de l'activité des scientifiques, ne soit pas vraiment la même que celles dont s'occupent, chacune de leur coté, la réflexion philosophique et la recherche historique. Les scientifiques eux-mêmes ne sont pas toujours sensibles au lien que leur travail entretient avec la philosophie et avec l'histoire des sciences, bien qu'il concerne des significations et soit en situation d'état provisoire, entre une connaissance passée et des développements ou des interprétations futures. Cependant, les leçons de la découverte et du travail scientifique, telles que ceux-ci se révèlent à travers la formulation par Einstein de la théorie de la relativité restreinte, cas étudié ici à titre d'exemple, montrent les rapports réciproques et nécessaires entre ces diverses dimensions de ce qu'on appelle la science. Cette mise en relation permet d'aborder d'une manière renouvelée certains problèmes ou certaines apories traditionnelles de la pensée de la connaissance scientifique. ([1996e]).

Dans l'article « *Einstein et la pensée de la matière* », je tente de caractériser la *pensée de la matière* chez et selon Einstein, telle qu'elle se révèle dans ses recherches, et telle qu'il l'a lui-même explicitée dans ses réflexions plus générales. Les premières font voir une pensée physique préoccupée de décrire et d'expliquer au plus juste l'objet étudié dans un enserrement théorique, selon un rapport

révélateur de son style scientifique propre. Ce dernier se caractérise par sa dimension critique préparant une construction théorique sur la base de concepts et de principes physiques identifiés, et par une séparation corrélative des approches pour des objets de nature différente (comme le champ continu et les phénomènes atomiques et quantiques). Cette pensée d'une adéquation stricte et « complète », dans un sens bien défini, de la théorie à son objet, laisse entière la dimension d'unicité et d'extériorité de cet objet considéré en général, la matière dans la richesse de ses significations, que contribuent à révéler ses autres approches scientifiques et sa réflexion philosophique. ([2000a]).

L'ouvrage *Einstein, les quanta et le réel*, qui complète *Einstein philosophe*, met par ailleurs ces caractères en évidence en ce qui concerne la physique quantique (je le décris plus en détail un peu plus bas, au thème G) ([Lap, a]).

Un autre article analyse en parallèle et de manière comparative les conceptions d'Einstein et celles de Poincaré sur la création scientifique, en les confrontant à leur propre expérience dans leurs recherches (voir plus loin). ([1999i]).

II.3.4. (F) CONTRIBUTIONS A L'EPISTEMOLOGIE ET A L'HISTOIRE DE LA THEORIE DE LA RELATIVITE : ANTECEDENTS, ELABORATIONS, INTERPRETATIONS.

L'objet de la théorie de la relativité restreinte: élaborations théoriques et réception.

J'ai étudié les problèmes épistémologiques et historiques posés par la théorie de la Relativité, surtout dans sa partie restreinte. Ces recherches présentent deux volets.

Le premier est la relativité restreinte comme problème d'épistémologie et d'histoire des sciences, dans lequel j'analyse l'évolution des idées et des concepts de la mécanique et de l'électromagnétisme, du milieu du 19ème siècle à la formulation d'Einstein en 1905. L'accent est mis en particulier sur la question de l'« objet » de la Relativité restreinte, qui n'est plus l'éther électromagnétique, ni même la dynamique électromagnétique. Cet « objet » est d'une nature particulière, puisqu'il s'agit de la « covariance », qui impose une condition sur les lois et sur les grandeurs physiques, sans porter directement sur ces lois. La difficulté à caractériser exactement cet objet explique la diversité des attitudes des physiciens à l'égard de la théorie d'Einstein et leurs hésitations quant à la différence exacte de cette théorie par rapport à celles de Lorentz et de Poincaré, qui comportaient pratiquement les mêmes formules. On retrace les « changements d'objet » subis par la théorie physique, de l'électrodynamique des corps en mouvement à la covariance (Cours au DEA, 1985-1989, travail manuscrit, à reprendre). Avec la Relativité générale, l'objet de la théorie change encore : il est à la fois la condition de covariance générale et la dynamique gravitationnelle (cet aspect est traité dans *Einstein philosophe* [1993a], chap. 3-5).

Le second volet porte sur *les scientifiques français et la Relativité* : étude de la réception de la théorie chez les physiciens et mathématiciens français, qui ne

peut être comprise que resituée dans le contexte des « traditions » qui ont précédé. Les travaux de Henri Poincaré et de Paul Langevin, contemporains de celui d'Einstein, permettent de comprendre certains traits importants de la réception plus tardive de la Relativité. On montre comment les conditions de la réception, d'une manière générale, sont tributaires de la difficulté concernant l'exacte appréciation de l'objet de la théorie de la Relativité restreinte, et comment, pour cette raison, c'est à travers la Relativité générale (qui, elle, est une dynamique) que la théorie restreinte s'est imposée. (« The scientific reception of Relativity in France » [1987b] ; le manuscrit en français, plus long que celui publié en anglais, attend d'être repris comme livre).

Une étude apparentée porte sur *la réception de la relativité en Amérique latine*, particulièrement au Brésil ([1996c, 1999l]) : mais elle concerne plutôt le thème N, bien que ses aspects comparatifs la rattachent à celui-ci.

Addition, janvier 2008.

Etudes sur Einstein, sur Poincaré et sur la relativité.

Mes études récentes sur ce thème prolongent mes travaux antérieurs (« The Scientific Reception of Relativity in France », 1986, *Einstein philosophe*, 1993, et « Poincaré et le principe de relativité », 1996), notamment dans la perspective d'analyser de manière comparative les styles de recherche respectifs de ces savants, menés par des exigences propres d'intelligibilité, et ce que l'on peut dire de la création scientifique dans son rapport à la rationalité à partir de leurs travaux.

J'ai publié plusieurs textes sur ce thème. Mes analyses comparatives des styles de recherche et des travaux d'Einstein et de Poincaré sont propres à dégonfler complètement les récentes polémiques (parfaitement artificielles du point de vue scientifique et historique, et manifestement portées par des motivations idéologiques de sinistre mémoire) sur les contributions respectives des deux savants (on a assisté à une campagne en règle contre Einstein, prétendant faire de sa théorie de la relativité restreinte un plagiat de Poincaré). Mes travaux de 1993 et de 1996 constituaient déjà par avance une telle réfutation, en mettant en évidence, de manière comparative, les chemins respectifs de ces deux savants de génie, mais ils sont inégalement ou pas du tout cités dans la littérature récente sur cette polémique. Il serait oiseux de s'étendre sur cette littérature d'une médiocrité affligeante, si ce n'était les effets de battage médiatique, qui influencent le grand public, et qui finissent aussi par avoir un effet déformaateur sur les étudiants et même sur certains universitaires. (Voir Pensée rationnelle et création scientifique chez Poincaré [2005f] ; Einstein 1905 : La théorie de la relativité restreinte comme création scientifique [2005j] ; Poincaré et la relativité des mouvements pour l'optique [sous presse,c].

Autres études sur Poincaré : Les analogies mathématiques au sens de Poincaré et leur fonction en physique [2008g]. Autres études sur Einstein : - Sobre o encontro casual de Norbert Wiener com Albert Einstein em uma viagem de trem (en collab. avec Olival Freire) [2005r] ; Einstein et le rôle des

mathématiques en physique [AP,e]. (trad. en espagnol : [2006b], et en portugais : [2005z1]).

Sur la décidabilité de la géométrie de l'espace physique : Einstein et le point de vue de Riemann

La décidabilité de la géométrie de l'espace physique, objet de débat dès la connaissance des géométries non-euclidiennes, a connu un renouveau avec la théorie de la relativité générale d'Einstein et les nouvelles perspectives ouvertes par la théorie physique de l'espace ainsi que par la cosmologie (et sans parler de la physique quantique qui fait se poser encore autrement la question de l'espace physique). Dans toutes ces directions, les idées apportées par Riemann dans sa *Dissertation* de 1854 constituent un point de référence majeur. Einstein, principal responsable de la « nouvelle donne », a pris sa part avec profondeur et d'une manière novatrice à ce débat qui mobilisait mathématiciens, physiciens et philosophes. Nous rappelons d'abord rapidement des éléments de sa participation propre au débat. Partant de la théorie physique, celle de la Relativité, il retrouve la question de la nature de la géométrie qui est impliquée dans la représentation physique, en soulignant toujours le caractère décisif de la géométrie riemannienne et de la conception de Riemann. Son argumentation se propose comme un dépassement aussi bien de l'apriorisme kantien que de l'empirisme (y compris l'empirisme logique) et du conventionnalisme, par une approche réaliste et rationaliste critique selon laquelle la théorie physique, élaborée par la pensée, constitue l'instance intermédiaire d'intelligibilité entre la géométrie et le monde physique. Après ce rappel, nous nous arrêterons en particulier sur un texte d'Einstein peu connu, datant de 1925, qui présente par rapport à ses autres interventions une particularité originale et significative, celle de se placer délibérément d'entrée sous le point de vue de Riemann, c'est-à-dire sous celui de la Géométrie, tant en ce qui concerne la genèse historique de la question du rapport de la géométrie à l'expérience et au monde physique, que le caractère décisif de l'instance théorique pour la signification de l'expérience.

Fin de l'addition de janvier 2008.

I.3.5. (G) LES PHYSICIENS ET LE DEBAT SUR LA PHYSIQUE QUANTIQUE

Je distingue ce thème, plus historique, de celui qui aborde la physique quantique directement par ses problèmes épistémologiques. Il s'agit, ici, d'études sur plusieurs acteurs de l'histoire de la physique quantique et, notamment du débat sur l'interprétation. Mes premières publications sur ce thème étaient surtout d'enseignement ou de vulgarisation, approches préliminaires sur les premiers travaux d'Einstein sur les quanta, ainsi que sur l'établissement de la physique atomique et de la mécanique quantique [1974h,i, 1975o, 1980h, 1981b], ou encore « Eléments d'histoire de la mécanique quantique jusqu'à l'argument EPR » ([1983b]). Dans une perspective de recherche originale, à visée épistémologique,

je mentionnerai un chapitre de *La Matière dérobée* [1988a] (chapitre 4), une étude sur le style de travail théorique et les conceptions d'Erwin Schrödinger, des études en collaboration sur David Bohm, et les travaux sur Einstein, en quelques articles et un livre. Je mentionne pour mémoire une brève contribution sur le « style scientifique » de Louis de Broglie ([1988g]).

Formalisme et interprétation physique chez Erwin Schrödinger

Les conceptions d'Erwin Schrödinger sur la physique quantique ont fait l'objet d'un autre travail publié, qui suit les élaborations théoriques l'ayant mené à son équation, puis les diverses phases de son interprétation, en évaluant leur évolution, et mettant ces éléments en relation à ses vues théoriques générales et philosophiques ([1993d]).

Physique quantique et causalité selon David Bohm.

J'ai repris, en collaboration avec Olival Freire et Alberto Rocha Barros[23], l'étude des travaux de David Bohm sur la description causale et déterministe avec son modèle de variables cachées (non locales), pour « compléter » la mécanique quantique ; ainsi que sur les développements de ce programme et son accueil, avec adhésions et controverses, sur le terrain philosophique aussi bien que sur le terrain scientifique, sans omettre leurs circonstances locales et internationales, lors du refuge de Bohm au Brésil, de 1951 à 1955. Intermédiaires entre les critiques d'Einstein qui remontent à 1935 et les considérations de John Bell de 1964-1966, ces travaux font partie du contexte des transformations d'idées qui devaient aboutir à mettre en évidence l'importance de la non-localité de la mécanique quantique. L'absence de résultats scientifiques nouveaux par rapport aux prédictions de la théorie courante apparaît comme ayant été la raison principale de la faible réception du programme causal de Bohm et de son échec. Cependant, l'approche de David Bohm s'est avérée féconde sur le plan conceptuel, plus riche que le modèle particulier. [1994c, 2000e, 2002g]. (Voir aussi [1999o].)

Les objections d'Einstein à l'interprétation de la mécanique quantique.

L'étude que j'ai faite des conceptions d'Einstein est plus détaillée et plus exhaustive que celles sur les auteurs qui précèdent. Elle fait l'objet d'un livre, *Einstein, les quanta et le réel* (à paraître,A), qui complète *Einstein philosophe*, et qui avait, à vrai dire été rédigé pour l'essentiel en même temps que cet ouvrage ; je l'avais dissocié pour des raisons de volume, attendant l'opportunité de pouvoir le publier. J'en ai donné la matière, au moins partielle, dans des cours de DEA, à Paris, et de post-graduation, à São Paulo.

J'ai étudié, dans l'ouvrage *Einstein, les quanta et le réel*, la pensée d'Einstein concernant les quanta, tant dans ses contributions décisives à l'élaboration de la physique quantique, de 1905 à 1925, que dans ses critiques ultérieures de l'interprétation courante de la mécanique quantique. Ses travaux

---

[23] Olival Freire, professeur à l'Université Fédérale da Bahia à Salvador (Brésil), a préparé sous mon orientation sa thèse de doctorat sur ce sujet, soutenue à l'Université de São Paulo en 1995. Alberto Rocha Barros, physicien à l'Université de São Paulo est décédé en 1999).

pionniers contribuèrent considérablement à l'élaboration de la théorie des quanta, de 1905 à 1925, à préciser les propriétés proprement quantique et à en caractériser les concepts. J'ai mis en rapport ces deux phases de sa pensée de la physique quantique que l'on a traditionnellement opposées, rétablissant un tableau plus conforme aux exigences de l'objectivité historique, contre des vues trop schématiques et unilatérales, qui ont longtemps accompagné l'interprétation devenue « orthodoxe ». J'ai pu montrer la continuité de cette pensée dans la période d'élaboration constructive de la théorie et dans la période critique, et j'y ai décelé la marque d'un même « style » de travail théorique, qui passe par une analyse critique des concepts et des limitations des théories disponibles.

J'ai analysé la nature de ses objections, qu'il portait non pas tant contre la mécanique quantique comme théorie des phénomènes quantiques, qu'il acceptait comme provisoire, que contre l'interprétation dominante, dite « de Copenhague », marquée à ses yeux par une philosophie observationaliste qui abandonnait l'idée (programmatiquement nécessaire à ses yeux) de réalité physique. J'ai également examiné la structure de ces objections, qui ordonne entre eux et hiérachise des catégories et des concepts comme ceux de réalité physique, de complétude théorique, de séparabilité locale pour des systèmes individuels, et enfin de description statistique qui concerne l'indéterminisme. J'ai mis ces critiques, formulées du point de vue physique, en relation à son propre programme pour la théorie physique et à ses travaux menés en parallèle sur la théorie du champ continu. ([Lap,a]).

J'ai également montré comment des développements plus récents de la mécanique quantique, comme le théorème de Bell et les expériences de corrélations à distance sur des systèmes quantiques, ont fait apparaître clairement que l'enjeu fondamental du débat quantique était, non pas la question de l'indéterminisme comme on le pensait généralement, mais celle de la non-séparabilité locale, qui n'était plus désormais une affaire d'interprétation mais l'énoncé d'un fait physique. Ce changement de perspective avait été, en fait, préparé par les réflexions d'Einstein dans son « argument EPR » et dans d'autres éclaircissements, qui ont contribué de manière décisive à expliciter la non-séparabilité locale comme concept fondamental de la physique quantique (inspirant l'approche de John Bell). En insistant, dans son argumentation, sur les notions de réalité physique indépendante et de complétude théorique, Einstein fut conduit à donner une définition explicite de la séparabilité locale comme critère permettant de décider si la mécanique quantique est ou non complète (dans un sens spécifique). Le problème fondamental aux yeux d'Einstein était ainsi celui de la séparabilité combiné à celui de la « mesure » au sens quantique, et la question du déterminisme apparaît comme seulement subséquente. La séparabilité étant désormais établie comme un fait physique, et comme un concept, voire une propriété des systèmes quantiques, il nous reste à en comprendre la signification. ([Lap,a]).

J'ai consacré à la question de l'interprétation de la mécanique quantique par Einstein un article (en anglais) sur « La (véritable) nature des objections d'Einstein à l'interprétation de la mécanique quantique », paru dans *Foundations of physics* (« The nature of Einstein's objections to the Copenhagen interpretation

of Quantum Mechanics » [1995b]), et j'ai fait, dans un autre article, « Sur les variables cachées de la mécanique quantique » ([1993c]), une étude comparative des positions respectives d'Einstein, Louis de Broglie et David Bohm sur la question des variables cachées déterministes proposées comme une alternative à la mécanique quantique, en faisant notamment usage de leur correspondance (publiée ou inédite), montrant qu'Einstein ne voyait pas la solution des problèmes dans cette direction. [1993c].

Séparabilité locale et déterminisme dans l'interprétation d'Einstein de la mécanique quantique.

On a longtemps pensé, et c'est encore parfois le cas, que la question fondamentale de l'interprétation de la mécanique quantique était celle de l'indéterminisme. Après le théorème de Bell et les expériences de corrélations à distance sur des systèmes quantiques, il est apparu clairement que le véritable enjeu du débat quantique était en fait la non-séparabilité locale, qui n'était plus désormais une question d'interprétation mais l'énoncé d'un fait physique. Ce changement de perspective, consécutif à l'avancée importante que représente le résultat de Bell, faisant passer de la question de l'indéterminisme à celle de la non-séparabilité locale, avait été, en fait, préparé par les réflexions d'Einstein lui-même sur l'interprétation de la mécanique quantique depuis l'argument EPR. Les éclaircissements qu'il a proposés depuis 1935 dans divers écrits publiés ou privés, ont contribué de manière décisive à expliciter la non-séparabilité locale comme concept fondamental de la physique quantique. Ce sont d'ailleurs ces éclaircissements qui ont inspiré l'approche de John Bell. On montrera comment l'insistance mise par Einstein, dans son argumentation, sur les notions de réalité physique indépendante et de complétude théorique l'a conduit à donner une définition explicite de la séparabilité locale comme critère permettant de décider si la mécanique quantique est ou non complète (dans un sens que nous spécifierons). La question du déterminisme apparaît alors comme seulement subséquente par rapport à celle de la séparabilité. Le problème fondamental aux yeux d'Einstein était ainsi celui de la séparabilité combiné à celui de la « mesure » au sens quantique. On est tenté de se demander ce qu'Einstein aurait pensé s'il avait connu les développements ultérieurs jusqu'au résultat d'Aspect. Quant à nous, il nous reste à comprendre la signification de la non-séparabilité comme fait et comme concept physique. (Conférence invitée, *Simpósio David Bohm. Fundamentos da Física*, Instituto de Estudos Avançados (IEA) e Instituto de Física (IFUSP), Universidade de São Paulo, 21-25 septembre 1998). [En prép.]

Addition, janvier 2008.

Le style scientifique d'Einstein dans l'exploration du domaine quantique (une conception des rapports entre la théorie et son objet)

Les premières recherches en physique d'Einstein (notamment celles de l'année d'or 1905) portaient sur deux domaines qu'il traita indépendamment : le domaine atomique et radiatif d'une part, la théorie électrodynamique, d'autre part. Ultérieurement, ces deux directions de recherches se cristallisèrent en direction de la théorie des quanta d'une part, des théories de la relativité et du champ continu

d'autre part. On voit se dessiner dès le début, en suivant les travaux d'Einstein dans ces deux directions (qu'il mena constamment en parallèle), deux types d'approches différentes : l'une heuristique, mettant en œuvre une méthode probabiliste d'investigation suscitée par la thermodynamique (calculs de fluctuations), en vue de caractériser des propriétés spécifiques du nouveau domaine de la physique des quanta ; l'autre, d'emblée fondamentale, organisant le travail théorique autour de principes d'invariance. Ces deux modes d'approches ne correspondent pas à un clivage entre deux attitudes de pensée, empiriste d'un coté et théorique-rationnelle de l'autre (comme bien des commentateurs ont voulu le croire, d'ailleurs en les rapportant à deux périodes distinctes de l'œuvre d'Einstein), mais à une manière différenciée qui lui est propre de concevoir le travail théorique, en fonction de l'intelligibilité possible de son objet, en termes de concepts et de principes toujours pensés physiquement. Cette manière définit le style propre d'Einstein comme chercheur en physique, à la fois critique et constructif, qui se constitue dès ses premiers travaux.

Voir les exposés et textes récents : Le style scientifique d'Einstein dans l'exploration du domaine quantique (inédit en français, version en anglais : Einstein's scientific style in the exploration of the quantum domain (a view on the relationship between theory and its object *International Congress of History of Science*, Beijing, july 2005, à paraître [AP,a] ; trad. en port. [2005p]) ; Einstein et la philosophie de la matière (confér. en 2005 et 2006), art. [2008p] ; Champ continu et quanta : les deux approches théoriques de la matière selon Einstein [2007j] (trad. en portugais : [2005e]).

Einstein, les quanta et le réel.

L'étude systématique de la pensée et des travaux d'Einstein sur les quanta fait par ailleurs l'objet d'un livre terminé depuis un certain temps, qui constitue le second volet de *Einstein philosophe* (1993), et que j'espère faire paraître prochainement. Il s'agit de : *Einstein, les quanta et le réel. Critique et construction théorique*. Le plan de l'ouvrage est le suivant : Chapitre 1. Celui par qui le scandale arrive. La critique d'un fondateur.- Chapitre 2. Probabilités physiques, réalité moléculaire et quanta d'énergie. - Chapitre 3. Elaboration de la première théorie des quanta. De l'impulsion de la lumière à l'indiscernabilité des particules quantiques.- Chapitre 4. Critique de la mécanique quantique. - Chapitre 5. Critique de l'interprétation de la mécanique quantique.- Chapitre 6. Pour un autre programme de la physique quantique. - Chapitre 7. Critique des concepts de la mécanique quantique. - Chapitre 8. Réalité physique, observation et complétude théorique. - Chapitre 9. Séparabilité locale, Déterminisme et probabilités. - Chapitre 10. Einstein et les variables cachées.- Bibliographie.

Voir aussi les exposés et articles récents Einstein et la physique quantique au moment de son voyage en Amérique latine (1925), [2008r] ; Einstein et la philosophie de la matière [2008p].

(Fin de l'addition de janvier 2008).

III.3.6. (H) EPISTEMOLOGIE DE LA PHYSIQUE SUBATOMIQUE ET DE SON RAPPORT A LA COSMOLOGIE

Je place sous cette rubrique mes recherches sur l'épistémologie de la physique subatomique (noyaux atomiques, particules élémentaires, champs quantifiés, symétries internes), selon les élaborations récentes et les conceptions actuelles, ainsi que les aspects de la cosmologie qui y sont reliées.

Je me suis intéressé à l'épistémologie de la physique subatomique (traitement des particules élémentaires en termes de champs d'interaction et de symétries fondamentales, rapport de la théorie à l'expérience) dans la suite des travaux que j'avais effectués en physique dans ce domaine. Outre plusieurs articles, j'ai consacré plusieurs chapitres du livre *La matière dérobée* [1988a] à ces problèmes, à la suite de ceux concernant la mécanique quantique. Mes premières recherches en épistémologie de la physique contemporaine ont porté sur la physique des particules élémentaires, domaine qui s'est considérablement renouvelé depuis les trois dernières décennies. Dans mes recherches de physique, j'avais eu l'occasion de suivre de très près ces développements, travaillant sur certains des problèmes les plus actuels (quarks, symétries, neutrinos, etc.) (voir aussi mes articles de « vulgarisation » dans *La Recherche* et dans d'autres publications).

La matière dérobée. L'appropriation critique de l'objet de la physique contemporaine

J'ai voulu examiner certaines implications épistémologiques et philosophiques de ces nouvelles connaissances physiques, d'abord dans des articles ou des exposés [1978o,r, 1981f], ensuite dans le livre *La matière dérobée. L'appropriation critique de l'objet de la physique contemporaine* [1988a], rédigé en fait dès 1982 (et trad. en portugais (Brésil) : [1995a]), dont le titre exprime le point de vue par lequel j'ai choisi d'aborder ces problèmes : celui du « réel », de la réalité physique, de l'accès indirect et abstrait à celle-ci, selon une appropriation mentale par la formation de représentations conceptuelles et théoriques.

La physique n'a pas cessé, au cours de son histoire, de soulever des interrogations fondamentales de nature philosophique. Son évolution récente même, dans les diverses disciplines ouvertes de la physique atomique à la physique des particules et à l'astrophysique, sans oublier la cosmologie, et selon des perspectives qui sont celles de l'unification et d'une abstraction plus grande, permet de saisir avec un certain recul la portée et la signification de ses concepts et de ses formulations.

C'est une telle analyse que j'ai proposée, de nature indissociablement épistémologique et historique, sur certaines des notions les plus centrales de la physique, comme sur ses procédures intellectuelles, en prenant pour guide la question suivante: quel est l'objet de la physique contemporaine, c'est-à-dire: qu'est-ce qui la distingue des autres disciplines (par exemple, de la biologie moléculaire); par quels moyens est-elle en mesure de décrire des objets comme l'atome, le rayonnement, les particules; quelles sont les significations possibles de ses énoncés, en mécanique quantique; comment et pourquoi ses concepts se sont-

ils modifiés ou ont-ils été élaborés; quelle est la nature des principes de symétrie ou de l'utilisation des mathématiques en physique. En filigrane, sous ces questions auxquelles je me suis efforcé d'apporter des réponses précises, se profile la question de la réalité physique. De quoi parle, en définitive, la physique? D'elle-même comme procédure d'investigation, ou du monde réel, matériel, indépendant de la pensée? [1988a]

A ces questions se rattachent diverses études, sur l'unification et les symétries en théorie des particules, sur le neutrino, etc.[1985c et d].

Les particules et l'Univers

J'ai organisé par ailleurs, avec l'astrophysicien Jean Audouze et le physicien Paul Musset, un ouvrage collectif, *Les particules et l'Univers. La rencontre de la physique des particules et de la cosmologie*, paru en 1990 [1990b], comportant des contributions de physiciens, astrophysiciens et philosophes, sur les rapports entre la physique nucléaire et des particules élémentaires, d'une part, et l'astrophysique et la cosmologie, d'autre part, rapports qui constituent un des thèmes marquants de la science contemporaine. Dans mes propres contributions à cet ouvrage, je m'efforce notamment d'évaluer la portée épistémologique des développements récents, concernant le concept de symétrie, ainsi que les principes communs que semblent s'échanger de nos jours la physique des particules et la cosmologie [1990c, d,e]. (Voir également d'autres contributions sur la cosmologie, le « principe anthropique », etc : [1986g, 1993b, 1994f].) La cosmologie en relation à la matière quantique est également évoquée parmi les sujets du thème I. [2000c]

J'ai repris récemment le thème de la rencontre de la physique nucléaire et des particules élémentaires avec l'astrophysique et la cosmologie, pour en proposer, en collaboration avec Jean Audouze, une mise en perspective historique. L'argument en est le suivant. Le comportement des astres et de l'Univers dans son ensemble, avec ses grandes structures (distribution des galaxies) ne peut se comprendre aujourd'hui que grâce à la physique de l'infiniment petit, et l'Univers apparaît en même temps comme le laboratoire pour l'étude des conditions extrêmes de la physique des particules et des champs d'interaction fondamentaux, y compris de la matère non nucléaire (l'invisible « matière noire »). On retrace les origines des diverses disciplines concernées et leur rapprochement sur un objet commun. [2000k]

J'avais également préparé plusieurs articles, restés inachevés, initialement prévus pour un ouvrage dont la publication a été suspendue. Je les reprendrai peut-être ultérieurement dans un autre projet sur ce thème. Ces textes sont : « La découverte des courants neutres faibles » (1984) ; « De la théorie de Fermi à la théorie de jauge unifiée électrofaible » (1990) ; « Symétrie, dynamique et unification » (1990).

Je me suis également intéressé à l'examen de concepts limites tels que ceux suscités par la question des « origines » (le temps aux diverses phases de l'expansion du cosmos, les problèmes comparés de l'origine de l'univers et de

l'origine de la vie, la flèche du temps en cosmologie, en thermodynamique et en biologie. [1994e]

J'inclus dans ce thème quelques travaux de synthèse relativement récents qui sont plus descriptifs du point de vue de la physique qu'historiques ou épistémologiques, mais qui présentent de façon asssez complète certains aspects de la physique actuelle. En particulier, sur les neutrinos, un état de la question assez précis et complet, pour l'*Encyclopædia Universalis* [1985c, 1995e].

Les débuts de la physique nucléaire

J'ai proposé, par ailleurs, avec Martha-Cecilia Bustamante, d'entreprendre une recherche sur *Les débuts de la physique nucléaire expérimentale et surtout théorique, en France* notamment, généralement négligés ou dont l'importance a été jusqu'ici sous-estimée par les historiens des sciences. Ma contribution est relative à des questions de styles et de traditions scientifiques (héritages de la physique mathématique de Poincaré et de ses disciples, de la physique théorique de Paul Langevin, relations aux scientifiques d'autres pays, voir plus haut). Ce projet et les résultats partiels sont exposés dans le « Rapport sur L'Histoire des débuts de la microphysique en France », mars 2000, que j'ai préparé en collaboration avec Martha-Cecilia Bustamante pour le programme « Archives de la création » du CNRS.

Physique subatomique : évolutions conceptuelles et disciplinaires

Sur la physique subatomique (nucléaire et des particules), j'ai participé à la rédaction d'un livre sur le vingt cinquième anniversaire de l'IN2P3 (Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules Elementaires, CNRS), à la demande de cet Institut. J'ai élaboré, en collaboration avec René Bimbot, le premier chapitre (de près de cent pages), « Vingt cinq ans de physique nucléaire et des particules », qui porte sur les contenus des connaissances obtenues et sur les transformations survenues en physique nucléaire et des particules au cours des trente dernières années. Nous avons tenté de saisir les grands axes conceptuels et les évolutions disciplinaires de cette science. Après avoir évoqué l'état de l'art dans chacun des deux domaines vers 1970, on décrit leur évolution jusqu'à aujourd'hui, avec l'unification de la matière nucléaire hadronique, la réduction des particules aux quarks et aux hadrons, et les succès obtenus par le concept de champs de jauge et dans la direction de leur unification. Ce travail d'exposition des connaissances et d'histoire récente est mené par une intention épistémologique : celle d'analyser les rapports entre les réorganisation conceptuelles et théoriques et les réattributions des champs disciplinaires, entre la physique nucléaire, celle des particules (on montre qu'il est indiqué de comprendre les deux comme constituant la « physique subatomique »), l'astrophysique et la cosmologie. (A l'origine, la physique nucléaire s'intéressait avant tout à la connaissance de la structure des noyaux, et des forces qui en assurent la liaison, analysés auprès de réacteurs nucléaires ou à partir de collisions provoquées par des machines accélératrices d'énergie modeste, tandis que la physique des particules élémentaires se proposait de rechercher les constituants élémentaires de la matière et d'analyser les forces d'interactions de ces

constituants entre eux, à énergie élevée, produite par des accélérateurs.) [1996g].

Les sciences exactes et la physique au XXe siècle

J'inclus également dans cette rubrique un panorama sur les sciences exactes dans leur ensemble au XXè siècle, en particulier la physique, effectué initialement pour la nouvelle rédaction de l'*Histoire de l'Humanité* de l'UNESCO. J'ai assuré, pour cet ouvrage, la coordination et une partie de la rédaction du chapitre 14 du vol. VII (*Le XXè siècle de 1914 à nos jours*). Ce chapitre est intitulé « Science moderne et connaissance », et j'en ai rédigé les sections suivantes (80 p.) : 14.0, Introduction ; 14.1, Nouveaux concepts de matière, d'espace et de temps (a, Théorie de la relativité ; b, Physique quantique ; c, Incertitudes dans l'exactitude : problèmes d'interprétation ; d, Structure atomique de la matière ; e, Physique nucléaire et des particules élémentaires ; f, Astrophysique et cosmologie) ; 14.3, Changements fondamentaux dans les sciences de la nature et dans les mathématiques (b, Nouveaux objets et méthodes en physique ; d, Stucture et dynamique de la Terre ; e, Recherches sur les origines de la vie) ; 14.4. Conclusion). [A paraître,v].

Comme effet de la préparation du travail précédent, j'ai rédigé sur le même sujet, en le développant, un texte plus étendu qui fournit la matière d'un livre, *La physique au XXe siècle*, destiné à un public relativement large, présentant les grandes lignes du développement des connaissances en physique au cours du siècle écoulé, en insistant sur les aspects conceptuels de ces évolutions, et en tendant d'en discerner quelques tendances significatives. ([2003a]).

Dans la même veine, mais d'un point de vue strictement historique (histoire des sciences et histoire des idées), j'ai rédigé un article à la demande de Malcolm DeBevoise, de l'Univerté Columbia (Etats-Unis) sur le développement des sciences exactes en France au vingtième siècle (« The development of the exact sciences in France during the twentieth century », pour l'ouvrage *The Columbia history of twentieth century french thought* [à paraître,l]). La version originale de ce travail, beaucoup plus étendue que le texte finalement retenu, devrait faire aussi l'objet d'une publication ([à paraître,m]).

Simplicité et complexité dans la caractérisation d'élémentarité de la matière

L'idée d'élémentarité de la matière comprend l'idée sous-jacente de ramener la variété des formes et des manifestations de la matière au niveau physique à un petit nombre d'éléments liés selon quelques structurations simples (forces, champs, particules constituantes, etc.). Elle suppose un examen des notions d'élémentaire et de fondamental, qui ne sont pas nécessarement identifiables. On peut se demander si, en sens inverse, la reconstruction du complexe, au sens d'un certain type d'organisation, qui semble opposé à la notion de l'élémentaire, est possible à partir de ce dernier. Légitime en principe (le raccordement est possible) cette reconstitution présente des difficultés (telle que le réductionnisme). Au XVIIIè siècle déjà, d'Alembert en discutait à propos de la dynamique des fluides. On peut l'aborder avec la physique contemporaine à propos des noyaux atomiques et des particules qui les constituent (en examinant, en partculier, comment

fonctionne cette constitution). On peut se poser cette question également à propos du vivant (cf. La *Logique du vivant* de F. Jacob). L'idée de niveau apparait à ce propos : niveau de signification, de concepts, d'émergence. Un niveau d'émergence peut être vu comme la reconquête du simple à partir du complexe : à son niveau, le complexe (ou ce qui est dit tel, vu du niveau inférieur) peut être caractérisé simplement (par exemple, au niveu atomique, les atomes sont plus simples que les agrégats de particules qui les constituent, et de même les molécules au niveau moléculaire ; ou encore, les trous noirs sont, d'une certaine manière, des objets simples). C'est à ce niveau de structuration que portent les significations conceptuelles. On peut, par ailleurs, considérer qu'il y a une complexité de l'élémentaire : les particules élémentaires sont (conceptuellement) plus « complexes » que les particules classiques (elles demandent la physique quantique, au lieu de la physique classique, qui est théoriquement et conceptuellement plus difficile à comprendre et, à cet égard, plus complexe). Le principe de « superposition » et la non-sérabilité locale pour les particules quantiques sont des marques parlantes et conceptuellement analysables de cette « complexité » de l'élémentaire.

La marche de la physique semble être, d'une manière générale, dirigée vers une plus grande simplicité et généralité des lois, au prix d'une plus grande complication des concepts et de l'appareil théorique. (Les concepts « élémentaires » d'espace, de masse, etc, et de champ, sont des grandeurs définies par des symétries de transformations fondamentales opérant sur des grandeurs dynamiques). Un autre aspect de la dualité simplicité/complexité est l'utilisation des lois de probabilité en physique, en mécanique statistique et en physique quantique. Quelle est la signification de la simplification de la complexité obtenue, dans le cas de la mécanique statistique ? Et dans celui de la physique quantique ? S'agit-il, dans ce dernier cas, d'une simplification ? ou d'une caractéristique de la particule élémentaire elle-même ? La question du « holisme » (considération du lien structurel qui unit une totalité) appartient aussi à la question de la complexité. On peut l'aborder, par exemple, avec Poincaré et Einstein, à propos de la question de décidabilité expérimentale de la géométrie de l'espace physique. Le corps solide et l'horloge, instruments des mesures de distance et de temps, sont eux-mêmes des objets physiques. Faut-il alors attendre de connaître toute la théorie physique achevée sur la constitution de la matière, pour pouvoir conclure à propos d'une propriété conceptuellement simple ? (Participation à l'enseignement d'un stage de philosophie sur *L'élémentarité*, Grenoble, 26-27 février 1998).

Addition, janvier 2008.
Cosmologie et flèche du temps physique
*(*Le cours du temps. Temps physique et temps cosmologique.)

Le temps a été formé comme concept physique en admettant par définition l'unicité de son cours, du passé vers le présent et du présent vers le futur. On rappelle tout d'abord, du point de vue épistémologico-historique, comment le temps, tel que la physique l'utilise, a été constitué comme grandeur mathématique, continue, liée aux contenus physiques qu'elle permet d'exprimer, acquérant ainsi

le caractère d'une grandeur pleinement physique au sens usuel (du temps absolu newtonien à celui de l'espace-temps de la théorie de la relativité, restreinte et générale, sans omettre les leçons de la thermodynamique). Le cours unidirectionnel du temps est passé, ce faisant, du stade de définition à celui de justification pour des raisons ayant à voir directement avec la nature physique des phénomènes. Après cette mise en perspective, qui fait voir une relation de réciprocité entre le temps et les phénomènes, le reste de ce travail est consacré à l'évocation et à l'analyse critique de considérations proposées par Kurt Gödel, sur la base de la théorie de la relativité générale et de modèles cosmologiques, particuliers mais plausibles, et qui semblent mettre en cause la nature physique du temps. La conception acquise du temps physique, rappelée dans la première partie, s'avère éclairante pour préciser la question en termes d'univers physiquement possibles.

Voir: La nature du temps cosmologique selon Jacques Merleau-Ponty [2006f] ; The course of time. Physical and cosmological time, *Workshop on Time Arrow-La Flèche du temps*, Louvain-la-Neuve, 7-8 mai 2004 [AP,y].

Quelques leçons philosophiques de la physique du xxe siècle.

La physique du vingtième siècle (on pourrait le dire aussi de la science du xxe siècle en général) se présente comme très spécialisée et étroitement liée à des réalisations techniques ou technologiques. Cependant, malgré son caractère concret dans ce sens et son efficacité, elle se montre aussi bien, et même avant toute autre considération, comme une *pensée humaine*, symbolique, créatrice et rationnelle, objet de communication et de transmission de portée universelle. Des structures de la matière atomique et subatomique à celle de l'Univers, des objets de notre vie quotidienne d'apparence parfois chaotiques jusqu'à la plasticité des éléments constitutifs des organismes vivants, la physique contemporaine suscite, par-delà les descriptions de très haute précision de ses représentations, des questions authentiquement philosophiques, les unes traditionnelles, mais qui exigent des reformulations, et d'autres qui sont totalemente nouvelles. Nous abordons quelques unes de ces inter-relations entre la science et la philosophie : par exemple, le rôle des mathématiques dans la formulation des concepts et des théories physiques, la nature de la réalité physique (en particulier dans le domaine quantique), le rôle du temps dans l'évolution des formes matérielles, et notamment dans la cosmologie. (Conférences, et trad. en portugais du livre publié en 2003, *La Physique du xxe siècle* : *A Física do século XX* [2008a].

(Fin de l'addition de janvier 2008).

II.3.7 (I) L'INTELLIGIBILITE DU DOMAINE QUANTIQUE
(Epistémologie de la physique et de la mécanique quantiques).

Je me suis intéressé au problème de l'interprétation de la mécanique quantique dès 1973, à l'occasion d'une recherche sur les tests expérimentaux indirects qui existaient alors du théorème de John Bell[24] sur la séparabilité locale. J'effectuai ce travail du point de vue de la physique (à la suggestion de Bernard d'Espagnat, et à l'occasion du Colloque « *Un demi siècle de mécanique quantique* » que j'organisai avec J. Leite Lopes à Strasbourg en 1974, [1976j, 1977a]), ce qui donna l'une des premières mises au point sur le sujet, parue en français en 1975, puis en anglais en 1977 ([1975a, 1977b][25]) (celle de Clauser, Horne et Shimony date de 1978). Par la suite, j'entrai dans les questions proprement épistémologiques (je fus notamment invité avec B. d'Espagnat à en débattre devant la Société française de philosophie par son président d'alors, Jacques Merleau-Ponty ([1980e]), et je participai à une rencontre mémorable au Collège de France en 1981, voir [1981g][26]). J'ai également écrit, sur les problèmes d'interprétation de la mécanique quantique, un texte de vulgarisation en relation à mes analyses épistémologiques, « Nouveaux voyages au pays des quanta » (voir [1981i, 1991a]).

Je m'attachais en particulier, dans mes contributions de recherche, à une analyse épistémologique de la question de l'inséparabilité, où je montrais qu'on doit la considérer comme un fait physique et que, cela étant, il restait parfaitement possible de l'admettre d'un point de vue réaliste [1981h, 1982a, 1981e, 1982b et h, 1983b]. Dans mon livre *La matière dérobée* [1988a], j'ai abordé cette question, avec quelques autres que je jugeais fondamentales sur la mécanique quantique, comme le concept d'indiscernabilité de particules identiques, et le problème de la mesure (chap. 5, 6, 7), en les resituant dans l'ensemble des problèmes épistémologiques posés par le domaine quantique : ce qui mettait en valeur le fait que les problèmes de la physique quantique ne se restreignent pas à ceux de la seule mécanique quantique comme cadre théorique, mais qu'ils concernent aussi

---

[24] John Stuart Bell (1928-1990), physicien au CERN (à Genève), bien connu pour son travail fondamental sur la non localité en physique quantique réalisé en 1964 et 1965, travaillait aussi en physique théorique des particules élémentaires. J'ai eu le plaisir de travailler avec lui sur le neutrino lorsque je préparais ma thèse de physique, en 1962-1965 : j'ai su par la suite qu'il avait obtenu des résultats importants sur les problèmes fondamentaux de la mécanique quantique, un sujet alors mystérieux pour moi… et j'en ai souvent parlé avec lui par la suite. J'ai eu le plaisir de l'inviter, dès les premières années d'existence de l'équipe REHSEIS, à y donner un séminaire. Sont également venus à mon invitation, dans le même cadre, David Bohm (1917-1992), Abner Shimony, Bernard d'Espagnat, Louis Michel (1923-1999), …

[25] J'ai également publié, dès ce moment-là, des articles de divulgation sur l'inséparabilité quantique et sur les autres problèmes d'interprétation de la mécanique quantique : [1974j,h,i, etc.]. Je mentionne également ma contribution « Nouveaux voyages au pays des quanta » dans l'édition révisée de *L'Etrange histoire des quanta* de Banesh Hoffmann ([1981a, 1990a]).

[26] Parmi les participants : Anatole Abragam, Alain Aspect, John Bell, André Berthelot, Jean Brossel, Claude Cohen-Tannoudji, Bernard d'Espagnat, Claude Itzykson, Alfred Kastler, Franck Laloë, André Lichnerowicz, Jacques Merleau-Ponty, Albert Messiah, Abner Shimony, Jules Vuillemin… (cf. *Les Implications conceptuelles de la physique quantique*, in *Journal de Physique* (*Supplément*, fasc. 3), *Colloque* n°2, 1981, 1-118).

bien les aspects dynamiques, sur les particules et les champs quantiques (voir en particulier le chapitre 8, sur l'élaboration de théories quantiques de la matière, qui concerne aussi les symétries et l'unification). J'insistais, en particulier, sur l'importance de la question de la mathématisation de la représentation théorique en rapport au contenu physique de ces concepts (chap. 9), c'est-à-dire à la « réalité » physique, garantie par l'expérience.

Je me suis également proposé d'approfondir la question de la « complétude » de la mécanique quantique concernant en particulier le problème d'une théorie quantique de la mesure, dont j'ai essayé de donner une présentation claire, mais non exhaustive, montrant qu'elle demeure non résolue (voie en outre [1988f]), Cette mise en situation ne visait en rien à minimiser la spécificité des problèmes de la signification physique du « formalisme quantique », mais à souligner leur lien à ces autres aspects de la théorie quantique qui portent sur la dynamique. La suite me semble bien, aujourd'hui, justifier cette approche, car la pratique d'ensemble de la physique quantique (des systèmes atomiques aux particules et aux champs) a comme entraîné ensemble ces concepts et représentations vers une intelligibilité plus immédiate, de telle sorte que les physiciens du domaine semblent les avoir assimilés en se situant à partir d'eux… Cette remarque nous entraîne, en particulier, vers les thèmes épistémologiques et philosophiques sur la création scientifique (M), la rationalité (O), …,

Pour notre thème, « l'intelligibilité quantique », elle indique précisément l'une des raisons pour lesquelles j'ai repris récemment cette question, dans le prolongement des recherches qui précèdent. J'ai effectué un travail d'analyse critique des termes du problème de ce qu'on appelle l'interprétation de la mécanique quantique, en partant du constat que ces termes sont aujourd'hui sensiblement différents de ce qu'ils étaient dans la période de « fondation » de cette théorie. En effet, des modifications importantes du contexte d'ensemble ont survenu entre-temps, telles que l'ancrage des conceptions quantiques dans la pensée des physiciens (leur familarisation avec elles, tant du point de vue théorique que pratique), et encore les développements théoriques et expérimentaux au cours des vingt dernières années, qui ont notamment amené à considérer comme des faits physiques des énoncés qui paraissaient naguère relever davantage de la libre interprétation, voire de la spéculation (l'inséparabilité, mais aussi l'interférence de particules individuelles, l'indiscernabilité, etc.). J'ai proposé une re-lecture de la signification de plusieurs concepts fondamentaux de la physique quantique sur cette base, qui conduit à reporter l'essentiel du problème de l'interprétation *d'un plan philosophique* sur la connaissance (suivant la conception traditionnelle) *à un plan* plus directement *physique*.

Il s'agit essentiellement de *repenser la signification physique des grandeurs mathématiques* fondamentales du « formalisme quantique » telles que la *fonction d'état* et les *variables dynamiques*, ou encore la *matrice densité*, en y voyant l'expression directe de grandeurs physiques correspondant à des propriétés pour des systèmes, *par extension de sens de* cette notion au-delà de l'affectation de valeurs numériques. J'en discute la justification en en examinant tour à tour les implications sur notre compréhension de la fonction d'état et des grandeurs non

commutables, la signification des probabilités en physique quantique, sur le rapport du classique au quantique (en tant que description ou que monde de phénomènes), sur le concept d'espace, et entre la représentation théorique et les données de l'observation, avec le problème de la mesure et le phénomène de décohérence. Je détaille ci-dessous les diverses contributions de cette nature, présentées sous forme d'articles constituant un tout, dont l'ensemble constitue la matière d'un livre portant sur *L'intelligibilité du domaine quantique*.

La non séparabilité locale et l'objet de la théorie physique

J'inclus d'abord dans cette reprise la question de l'inséparabilité ou non-séparabilité locale telle que je l'avais analysée avec une plus grande précision conceptuelle, après la rédaction de *La matière dérobée*. Le concept de non-séparabilité locale prend ses racines dans le 'problème EPR' d'Einstein-Podolski et Rosen (datant de 1935), et se précise ensuite avec le théorème de Bell sur la localité (de 1964), puis avec les résultats d'expériences sur les corrélations quantiques à distance (vers 1981).

J'ai tout d'abord montré comment la formulation du problème de la non-localité ou non-séparabilité locale représente une décantation du rapport que la mécanique quantique paraissait entretenir de manière inextricable avec la philosophie à travers la question de l'interprétation de la théorie (voir les conceptions de Bohr et d'autres). J'ai examiné par quelles conditions l'on est passé d'une expérience de pensée à une expérience effective, c'est-à-dire à la possibilité de tester la théorie contre la 'localité': le rôle épistémologique du théorème de Bell a été de permettre la transformation d'une question de principe, de nature philosophique, en une question 'décidable' par l'expérience. J'ai pu montrer par là comment la découverte par Bell de son théorème d'incompatibilité entre localité et mécanique quantique représente un pas considérable pour l'interprétation de la mécanique quantique. J'ai indiqué ensuite que la non-localité peut être comprise (ce que j'ai appelé « penser l'inséparabilité ») dans le cadre des conceptions quantiques sans entâcher la complétude de la théorie, à condition de renvoyer le problème de la complétude à la question, toujours non-résolue, de la mesure au sens. (Cette analyse est en partie présente dans le chapitre 5 de *La matière dérobée*)

Dans l'article sur *« La non séparabilité locale et l'objet de la théorie physique »* ([1986b]), je montre tout d'abord ce que ce concept doit à la formulation d'Einstein (ce que j'ai, par la suite, étudié de façon extensive dans *Einstein, les quanta et le réel*), et comment il avait progressivement conduit à une modification importante de la manière de poser le problème de l'interprétation de la mécanique quantique. Les développements récents (avec les test expérimentaux des inégalités de Bell) relatifs aux corrélations quantiques à distance et à la notion de non-séparabilité locale ont donné une nouvelle actualité à un débat épistémologique qui, en vérité, n'avait jamais été conclu. La véritable portée de ce débat (symbolisé par les noms de Bohr et d'Einstein) concerne le rapport de la théorie à son objet. L'inséparabilité quantique est acceptée désormais comme un fait physique ; j'indique de quelle façon, et j'éclaire la démarche qui a fait passer d'une problématique sur le déterminisme à une problématique sur la

localité. Je m'interroge ensuite sur la signification de la non-localité en physique quantique, et sur son irréductibilité à toute causalité locale. Je reprends enfin le problème de la complétude de la théorie quantique, montrant que ce n'est pas la non-localité qui la met éventuellement en cause, mais le problème de la mesure.

Interprétations et significations en physique quantique.

Le débat sur l'interprétation de la mécanique quantique est, aujourd'hui, sensiblement différent de ce qu'il était dans la période de « fondation » de cette théorie. Cette modification tient à deux causes : l'ancrage des conceptions quantiques dans la pensée des physiciens, favorisé par l'utilisation systématique et fructueuse de la théorie quantique en physique atomique et subatomique, d'une part et, d'autre part, les développements théoriques et expérimentaux survenus au cours des vingt dernières années, qui ont amené à considérer comme des faits physiques des énoncés qui paraissaient naguère relever davantage de l'interprétation, avec liberté d'options, voire de la spéculation. Quelle est la signification des énoncés et des concepts théoriques de la physique quantique ? et comment celle-ci s'est-elle modifiée ? Qu'entend-on par « interprétation » ? Telles sont les questions qui servent de guide à cette contribution. Je me propose de clarifier ce qui, dans les questions de signification, relève respectivement de la physique (essentiellement les contenus conceptuels et théoriques), et de perspectives philosophiques. Cette distinction est plus nette aujourd'hui qu'elle ne l'était au moment de l'établissement de la mécanique quantique, ce qui permet d'approfondir notre compréhension de chacun de ces deux aspects, qui s'enrichissent mutuellement de cette clarification. Je m'interroge, pour terminer, sur ce que peut être une conception réaliste en termes d'un « monde d'objets quantiques ». ([1999k])

Les systèmes quantiques sont-ils des objets physiques ayant des propriétés physiques

Cet article synthétique, rédigé en réponse à une demande de contribuer à un numéro spécial de l'*European Journal of Physics* sur les « problèmes non résolus de la physique », rappelle tout d'abord l'état de nos connaissances sur les « systèmes quantiques », et l'interrogation persistante sur ce que seraient des « objets quantiques », considérant que l'acception courante à leur sujet est qu'ils n'ont pas de propriétés par eux-mêmes. D'où le titre : « Les systèmes quantiques sont-ils des objets physiques ayant des propriétés physiques ?» Malgré sa puissance comme base conceptuelle d'une vaste gamme de phénomènes physiques dans les domaines atomique et subatomique, la mécanique quantique souffre encore d'un manque de clarté en ce qui concerne la signification physique de ses concepts théoriques fondamentaux, tels que ceux d'*état quantique* et de *variables ou grandeurs théoriques quantiques*, traitées par les règles théoriques-mathématiques bien connues.

Ces concepts ont été généralement considérés comme ne donnant pas une *description directe* des systèmes physiques, puisqu'ils ne correspondent pas à ce que l'on entend habituellement par des « états physiques » ou des « propriétés physiques », conçus comme prenant des valeurs numériques définies que l'on

obtient par la mesure. Pour tenter de rendre raison de cette situation, les physiciens l'ont exprimée dans les termes d'« interprétations » diverses, qui portent non seulement sur la signification physique des grandeurs mathématiques, mais aussi sur des questions philosophiques comme celle de la « réalité physique ». La question de savoir si les grandeurs mathématiques de la théorie quantique décrivent ou non des systèmes physiques définis existant dans la nature a donc été généralement considérée comme échappant au domaine de la physique, en raison des définitions communément prises pour les concepts d'« état physique » et de « grandeur physique ». On retrace, dans ce travail, les principales conceptions proposées sur ce problème, et nous esquissons une voie possible pour résoudre l'« énigme », en termes d'une extension de la signification donnée aux concepts d'« état physique » et de « grandeur physique » d'un système, qui permettrait, sans aucun changement théorique dans la mécanique quantique, de parler de manière consistante de *systèmes quantiques réels*, ayant des *propriétés physiques* définies. ([1999g]).

Le concept d'état quantique : un nouveau regard sur d'anciens phénomènes.

Les développements récents dans le domaine de la connaissance des systèmes quantiques ont amené à considérer comme des faits physiques des énoncés qui paraissaient naguère relever davantage de l'interprétation, avec liberté d'options, voire de la spéculation. De cette nature sont les comportements quantiques de particules individuelles (diffraction, etc.), les éventuelles oscillations (de neutrinos, ...), les corrélations quantiques à distance (non-séparabilité locale), la condensation de Bose-Einstein, la possibilité d'isoler, en les refroidissant, les atomes et, récemment, la décohérence d'états de superposition engendrés par des systèmes quantiques en interaction avec l'appareil de mesure, qui permet de mieux se représenter le passage du quantique au macroscopique-classique. Le débat sur l'interprétation de la mécanique quantique a insensiblement changé de nature à la faveur de ces développements, en mettant l'accent sur l'« interprétation physique », qui se distingue plus nettement de l'interprétation philosophique qu'aux « beaux jours » des débuts de la mécanique quantique. En particulier, le concept d'état quantique acquiert ainsi indubitablement une signification directement physique, en termes de *propriétés d'un système physique* pleinement représenté par une superposition linéaire d'états propres et apte à se propager comme tel dans l'espace et dans le temps. La contrepartie de cet état de choses est une extension de sens du concept de grandeur physique et de fonction d'état, qui peuvent ne pas être directement à valeurs numériques. (Texte en anglais dans un volume de *Festschrift* pour John Stachel, et version en français[27]) [2003, k et j].

Les domaines quantique et classique, provisoires coexistants parallèles.

Le problème des rapports entre les domaines quantique et classique est abordé en adoptant le point de vue selon lequel il est possible de parler de

[27] John Stachel, est professeur de physique théorique (honoraire) à l'Université de Boston, spécialiste de la théorie de la relativité générale et anciennement directeur du groupe des Einstein Studies.

description physique directe de *systèmes quantiques ayant des propriétés*. Pour ce faire, un accent particuler est mis sur le concept spécifiquement quantique d'indiscernabilité des identiques, qui pourrait être considéré comme un principe physique caractéristique des « objets » du domaine quantique. L'argumentation porte ensuite essentiellement sur la relation classique-quantique, avec la question de la théorie quantique de la mesure. Même en l'absence d'une réponse définitive à ce sujet, la meilleure attitude à prendre semble, en l'état actuel des choses, puisque le classique et le quantique ne peuvent être réduits l'un à l'autre, de s'en tenir à leur coexistence pacifique, ce qu'autorise le principe de tolérance de la « vérité pragmatique » développée sous l'aspect logique par Newton da Costa. (Ce travail a été publié comme contribution à un ouvrage en hommage à Newton da Costa[28], dans un numéro spécial de la revue *Synthese*). (Paty [2000i])

Etats physiques quantiques et signification des probabilités.

On présente une étude épistémologique de la signification des probabilités, telles qu'elles sont impliquées en physique quantique, en relation à une *interprétation directe*, que nous avons proposée par ailleurs, de la fonction d'état et des grandeurs quantiques théoriques en termes de *systèmes physiques* ayant des *propriétés physiques*, moyennant une extension de la notion de grandeur physique à des expressions mathématiques complexes, non réductibles à de simples valeurs numériques. Nous montrons comment les changements survenus dans l'implication des probabilités en physique quantique, au départ simple outil de pénétration (les probabilités comme statistiques et fréquences d'occurrences d'événements), devenu concept théorique (la probabilité donnée par une « amplitude de probabilité » à visée physique), rendent une telle interprétation assez naturelle. Nous illustrons, en particulier, les *deux significations de la probabilité* (l'une théorique et quantique, l'autre statistique dans le sens usuel) en analysant un phénomène quantique simple tel que l'interférence d'un système quantique individuel avec lui-même, de sa « préparation » pour l'interférence (quantique) à sa mesure (classique). (Texte rédigé en anglais sur la base de deux exposés : « Physique quantique et probabilité », *Journée Physique et probabilité*, Marseille, 21.10.1998, et « Physical meaning of probability for quantum states », exposé invité à la *Conference on Stochastic Dependence and Causality*, Universitá di Bologna Conference Centre of Bertonoro di Romagna, 20-22.9.1999). ([2001i]).

La physique quantique ou l'entraînement de la pensée physique par les formes mathématiques.

Dans ce travail, est développée l'idée selon laquelle, depuis l'hypothèse de la quantification des échanges d'énergie par Planck, jusqu'à l'élaboration de la mécanique quantique, ainsi, d'ailleurs, que dans les développements ultérieurs de la physique du domaine quantique, la mise au jour de relations mathématiques a permis à la connaissance physique de pénétrer dans le monde atomique et

[28] Newton Affonso Carneiro da Costa, aujourd'hui professeur honoraire à l'Université de São Paulo, mathématicien et logicien, est l'inventeur, entre autres contributions fondamentales, des logiques para-consistantes.

subatomique qui échappait à la connaissance sensible. Ces relations se sont avérées correspondre à des traits physiques caractéristiques des phénomènes quantiques. Longtemps le statut épistémologique de ces relations a fait problème, immergé dans les considérations « physico-philosophiques » sur l'« interprétation ». Le cas n'est pourtant pas si radicalement nouveau, si l'on se rappelle de phases précédentes de l'utilisation de grandeurs mathématiques comme « outil de pensée » pour la théorie physique, par exemple en mécanique classique, en électromagnétisme, en thermodynamique. Les justifications de cette utilisation étaient liées à diverses « interprétations » de la portée physique des relations mathématiques. A tout bien considérer, il n'en va pas autrement avec la formulation apparemment abstraite de la mécanique quantique. Si tel est bien le cas, le problème de l'interprétation est ramené au statut épistémologique des grandeurs quantiques servant à décrire les systèmes physiques. Or, précisément, la compréhension actuelle de la physique quantique amène naturellement à considérer les grandeurs théoriques, sous leur forme mathématique, comme des représentations « directes » des systèmes physiques dans le domaine quantique. Il reste à évaluer ce que cela entraîne comme changements (et simplifications) sur les problèmes d'interprétation. (Conférence invitée, prononcée en espagnol, au *Congresso International « 100 años de mecanica cuantica, 100 years of Quantum mechanics »*, Madrid, 22-25 novembre 2000. ([2001k]).

Portée épistémologique de la décohérence quantique

La question du rapport des descriptions classique et quantique se retrouve à tous les niveaux de l'analyse épistémologique des conceptions quantiques, mais c'est avec le problème de la mesure qu'il était traditionnellement posé de la manière la plus intense. Cependant, l'intérêt des physiciens s'est porté de plus en plus depuis la fin des années 80 vers un autre aspect, ayant à voir avec celui-là, mais moins restrictif, puisqu'il ne s'agissait pas seulement de réduction (de la fonction d'onde) et de perception (directe des phanomènes) mais de propriétés des systèmes quantiques : cet aspect est celui de la décohérence de systèmes quantiques imbriqués entre eux. Cette imbrication (« entanglement ») de systèmes en interaction, due au principe de superposition, et dont une manifestation pour un très petit nombre de systèmes est l'inséparabilité, qui se manifeste par des corrélations à distance (voir plus haut), se retrouve et se multiplie pour des systèmes en interactions succesdsives avec d'autres. Le comportement proprement quantique d'un système physique s'exprime dans la « cohérence » de la fonction d'état qui le décrit (à quoi l'on ramène, par exemple, les effets d'interférence d'un système avec lui-même dans un dispositif de fentes d'Young). Que de telles propriétés soient absentes des systèmes physiques classiques, bien qu'il y ait un lien physique entre les deux domaines a été souvent vu comme un paradoxe, illustré pour la pensée par le « chat de Schrödinger ». Des travaux théoriques, puis expérimentaux sur des systèmes « mésoscopiques », ont montré comment des systèmes quantiques, cohérents dans un état initial, entrent en décohérence dans leur interaction avec les autres systèmes élémentaires qui constituent l'environnement, ce qui permet de circonscrire le raccord physique entre systèmes quantiques et systèmes décrits par la physique classique. J'examine d'un point de vue épistémologique la signification de cet état de

choses, en analysant tant la *cohérence* quantique (propriété physique, ramenée aux grandeurs proprement quantiques) que la *décohérence* (qui manifeste aussi le caractère physique, propagé dans l'espace et le temps, de la cohérence perdue en bout de parcours), et leurs implications conceptuelles. Celles-ci concernent notamment la qualification de *propriété physique* pour les effets de la cohérence, et donc pour cette dernière même, et le *rapport de la décohérence à la réduction* dans la mesure, ou encore de la *probabilité quantique à la statistique au sens classique* ([à paraître,gg]).

L'espace physique vu du monde quantique. Une approche épistémologique

La pensée physique - et, jusqu'à un certain point, la pensée mathématique, du moins géométrique - s'est toujours appuyée sur la notion d'espace, comme par exemple le concept de *dimension spatiale* qui a donné l'idée de grandeur physique mathématisée. Jusqu'à la théorie de la relativité générale, celle-ci comprise, les conceptions des systèmes physiques et des phénomènes dont ils sont le siège ou l'origine ont été tributaires d'une *pensée de l'espace*, et ces phénomènes et ces systèmes sont, en général, *pensés dans l'espace*, même s'ils ont contribué à modifier la pensée de l'espace et s'ils ont obligé à reformuler notre « intuition spatiale ». La physique quantique a remis en question cette certitude tranquille en mettant *la pensée de l'espace et dans l'espace* devant le dilemme suivant : ou bien garder le concept d'espace physique dans le sens précédent qui nous semble naturel et renoncer à l'idée que les « systèmes quantiques » pourraient être représentés directement dans cet espace comme des systèmes dotés de propriétés qui leur soient propres ; ou bien admettre que cela a un sens de parler de systèmes quantiques ayant des propriétés et *enlever à l'espace son rôle premier* dans la représentation de ces systèmes.

En prenant ce second point de vue, on est amené à penser la physique autrement que « dans l'espace » au sens habituel ; et cependant, on a toujours, à un moment ou à un autre, à envisager les systèmes physiques quantiques en référence à cet espace, qui est celui des corps macroscopiques et du cosmos dans son état actuel. Se demander comment une telle pensée est possible amène donc en même temps à s'interroger sur le rapport entre le monde quantique et l'espace physique de notre expérience. Cette interrogation passe par un inventaire des *modifications* du concept d'espace requises par la description physique des systèmes quantiques. On conclut en évoquant l'idée d'une *émergence* du concept d'espace à partir des phénomènes quantiques, tant du point de vue *épistémologique* (émergence d'un certain niveau de réalité à partir de niveaux sous-jacents) que du point de vue *cosmogénétique* (formation et expansion de l'espace physique des objets macroscopiques). Exposé à la Rencontre *L'espace physique, entre mathématiques et philosophie*, Institut d'Etudes Scientifiques de Cargèse, 29 janvier-4 février 2001 (31 janvier, 2 février). [2004f, à paraître].

L'interprétation des grandeurs physiques et le problème de l'intelligibilité dans la connaissance du monde quantique.

Du point de vue historique, le problème de l'intelligibilité du domaine quantique s'est posé en deux temps.

Le premier fut celui de sa constitution en tant que domaine de la connaissance, portant sur des phénomènes et des systèmes physiques dont la qualification de « microscopiques », ou même « atomiques et du rayonnement », ne suffit pas à rendre compte de la spécificité. Seul le qualificatif de « quantique » exprimait ce qui était en jeu, c'est-à-dire une rupture conceptuelle et théorique symbolisée par le quantum d'action de Planck-Einstein, et caractérisée (par Einstein, Ehrenfest et Poincaré) par l'abandon du traitement physico-mathématique à l'aide d'équations différentielles. La théorie « d'un nouveau genre » dont la nécessité avai été reconnue d'abord « en creux » fut élaborée progressivement, d'abord en adaptant les théories classiques, jusqu'à l'obtention d'une théorie « propre des quanta », que la mécanique quantique se proposait d'être. Mais celle-ci se présenta sous les apparences d'un formalisme mathématique, capable, certes, de rendre compte des phénomènes, mais à la condition d'adopter par convention des règles de correspondance avec les phénomènes observés.

Le second temps fut donc celui de l'« interprétation » de cette théorie, interprétation nécessaire pour disposer d'une pleine intelligibilité conceptuelle. L'analyse de ce qu'est cette interprétation, de ce qu'elle fut dans la contingence des situations historiques (à travers débats et controverses), et de ce qu'est (ou de ce que peut être) une « intelligibilité du domaine quantique », permet de mieux discerner quelle fut la nature réelle de la difficulté à concevoir clairement, en toute rationalité, la signification physique des nouvelles idées théoriques. Cette difficulté portait sur le type de mathématisation de la théorie et des grandeurs ou variables qu'elle mettait en jeu, en termes d'opérateurs et d'« états de superposition linéaire ». La nécessité de réinterpréter pour comprendre était la contrepartie du maintien d'un formalisme hamiltonien avec des équations différentielles, tout en sachant que ces dernières ne pouvaient être prises dans le sens traditionnel. Toutefois, il n'apparut pas immédiatement que la réinterprétation la plus simple et la plus efficace pourrait porter sur l'attribution d'un sens directement physique aux grandeurs mathématiques du formalisme quantique, plutôt que sur un bouleversement de nos idées sur la connaissance en général. (Contribution à la Session thématique « Changements dans l'interprétation et contenus conceptuels », *XXIst International Congress of History of Science / XXI è Congrès International d'Histoire des Sciences*, Mexico, juillet 2000.) ([2003l])

« Construction d'objet » et objectivité en physique quantique

Le domaine de la physique quantique ne peut être approché qu'indirectement, à l'aide de constructions abstraites de concepts ; ces derniers sont organisés en une théorie cohérente et puissante, qui paraît correspondre à la « nécessité des phénomènes », c'est-à-dire à quelque chose d'objectif. Dans l'« interprétation de la mécanique quantique », cette objectivité est admise, mais ce à quoi elle renvoie fait problème : *phénomènes donnés dans leur observation* ou *objets physiques réels* ? On examine si ce débat peut être articulé sur celui entre *construction* ou *objectivité* posé de nos jours à la philosophie de la connaissance par les études sociales sur les sciences. Un élément important d'appréciation est fourni par l'examen de la nature de la correspondance entre les

concepts théoriques et ce qu'ils désignent : dans quelle mesure la représentation, d'abord *abstraite*, par construction, devient-elle ensuite « *directe* », « *concrète* », « *intuitive* », selon la connaissance phénoménale elle-même ? (Première version : Journée sur *La question des "conditions d'application" de l'objectivisme et du constructivisme à la description de certains phénomènes physiques ou sociaux*, Paris, 22 mai 2001. [Add. janv 2008 : Deuxième version : Cenférence de réception à l'Académie Colombienne des Sciences, nov. 2007, à araître en trad. espagnole]).

Cosmologie et matière quantique.

Les représentations théoriques de l'*ultra-macroscopique*, régi par la force de gravitation, et de l'*ultra-microscopique*, domaine de la physique quantique infra-atomique, deux régions extrêmes de la structuration de la matière longtemps pensées comme déconnectées, sont mises désormais en rapport par la *physique* elle-même, qui établit une convergence et un recouvrement partiel de leurs objets. Les phases primordiales de l'Univers en expansion qui déterminent les premières impulsions de la dynamique du cosmos en imposant les contraintes physiques « initiales » de la cosmologie, coïncident avec l'objet de cette partie fondamentale de la physique subatomique qui concerne les symétries des champs et leurs brisures. Cette rencontre entre la cosmologie et la matière quantique s'effectue par deux voies : celle des *lois de la nature*, et celle de la *constitution de la matière*, que l'on peut suivre aussi bien en étudiant les *circonstances historiques* de ces convergences conceptuelles et théoriques (mais aussi factuelles) qu'en analysant leurs *conditions épistémologiques*. L'Univers primordial de la cosmologie est considéré comme laboratoire virtuel de la physique des champs à symétrie de jauge dans la région asymptotique de leurs unifications. La pensée de la matière semble portée dans cette direction par un mouvement vers l'indifférenciation, qui part de l'identité des indiscernables constitutive de la physique quantique et va vers une identification progressive des divers *genres* d'états physiques (indifférenciation croissante par les *symétries dynamiques* d'ordres plus élevés). Le sens physique acquis désormais par de tels concepts théoriques incline à y voir l'indice d'une objectivation plus grande de la théorie physique, qui ne *décrit* pas seulement le comportement de ses objets, mais les *détermine* et les *constitue* eux-mêmes de plus en plus étroitement. La descente au fond de la matière ne s'effectue désormais pas tant dans les dimensions spatiales, que dans une plus grande indifférenciation des particules de la matière quantique : et de même pour la remontée vers « l'origine du temps ». Cette dernière question s'éclaire par une analyse du rapport entre le temps et les théories physiques, notamment dans la perpective du temps cosmologique. (Exposé *au Colloque Philosophie et cosmologie*, en l'honneur de Jacques Merleau-Ponty, Paris, 1997, et publié dans *Epistémologiques*). [2000c].

Addition-Récapiulation, janvier 2008.
L'intelligibilité du domaine quantique).

Je regroupe sous ce titre l'ensemble d'une douzaine d'études préparées depuis plusieurs années (dans le prolongement de mon livre *La Matière dérobée*, 1988),

sur la manière dont il est possible aujourd'hui de comprendre non seulement le domaine quantique (compréhension au premier degré fournie par la théorie), mais (au second degré) la représentation théorique elle-même qui nous en est donnée, sans ajouts de signification extérieurs, tels que les interprétations « philosophiques » (complémentarité, observationalisme). Les concepts quantiques peuvent être compris selon l'immanence du domaine de phénomènes et d'objets qu'ils servent à décrire, et qu'en fait ils décrivent au sens propre : ils constituent de véritables concepts et grandeurs *physique*s au sens plein du terme, car ils suffisent à établir la spécificité propre de ce domaine (ses traits irréductibles au domaine classique). Cette « interprétation directe » suppose essentiellement une extension du sens de ce que l'on entend classiquement par « grandeurs physiques » (étendue aux « fonctions d'état » et aux opérateurs, par-delà la signification trop restrictive de « grandeurs à valeurs numériques »). Elle correspond de fait à la pratique actuelle des physiciens du domaine quantique, qui « pensent » effectivement selon les modes propres de ces concepts théoriques, qu'ils font opérer sur leurs dispositifs expérimentaux qui provoquent (suscitent et produisent) les phénomènes et les analysent. Ceci bien qu'ils en restent généralement, dans leur épistémologie explicite, à l'expression traditionnelle des questions d'interprétation (qui reste très en-deçà de leur « pensée pratique »).

Un livre en préparation (la moitié des textes est présentement en français, l'autre en anglais) reprend ces contributions et d'autres précédentes : *L'Intelligibilité du domaine quantique*, à paraître (version en anglais : *The Intelligibility of the Quantum Domain*, à paraître). Le plan en est le suivant : 1. Introduction. La pensée des phénomènes quantiques. - 2. Interprétation et signification en physique quantique.- 3. Les systèmes quantiques sont-ils des objets physiques ayant des propriétés ? - 4. Le concept d'état quantique : vues nouvelles sur d'anciens phénomènes.- 5. La non-séparabilité locale et l'objet de la physique quantique. - 6. Etats quantiques et signification physique des probabilités. - 7. Les domaines quantique et classique, (provisoires) coexistants parallèles. - 8. Le phénomène de décohérence ou la frontière des deux mondes. - 9. Le problème d'une théorie quantique de la mesure. - 10. L'espace physique vu du monde quantique. - 11. Cosmologie et matière quantique. - 12. La physique quantique, ou l'entraînement de la pensée physique par les formes mathématiques. - 13. Construction d'objet et objectivité en physique quantique. - 14. Conclusion. Des principes physiques pour les théories quantiques. - Bibliographie.

(Fin de l'Addition de janvier 2008).

II.3.8.(J) MATIERE ET CONCEPTS. RATIONALITE ET HISTORICITE DES CONCEPTS PHYSIQUES

Dans un ensemble d'articles d'épistémologie historique sur l'évolution de plusieurs concepts fondamentaux de la physique, j'ai retracé leurs transformations qui manifestent leur historicité, tout en m'efforçant de reconstituer à chaque étape, dans le contexte et selon le système d'intelligibilité de l'époque, leurs contenus et leurs rapport à d'autres éléments signifiants. Cette procédure révèle des continuités et des ruptures entre les contenus successifs de ces concepts qui, tout en différant selon les divers systèmes de signification où ils sont incorporés,

obéissent à des schèmes de rationalité. On voit, en particulier, qu'il est possible de relier rationnellement des contenus conceptuels en succession diachronique, et de les saisir dans le mouvement même de leurs transformations, qui est celui de leurs élargissements et de leurs « progrès », en rapport à celui des théories

Les trois stades du principe de relativité.

Avec *« Les trois stades du principe de relativité »*, j'effectue un retour historique sur plusieurs moments déterminants de l'« invention de la physique », formant une chaîne temporelle de relations. J'évoque, en premier lieu, certains problèmes méthodologiques posés par l'historicité des contenus de connaissance, ainsi que quelques questions soulevées par le choix d'un point de vue et d'un fil directeur, nécessaire pour reconnaître des significations. On considère ensuite les contenus physiques et les contextes qui leur sont relatifs à chacun des « moments » examinés, constituant ce qui apparaît, vu de la fin, comme « l'histoire » d'un « principe de relativité ». Celle-ci comprend, tout d'abord, la relativité des mouvements de la physique galiléenne et de la mécanique classique, puis le problème posé de son extension ou non à l'optique (au XIXè siècle). La formulation explicite d'un « principe de relativité » (au début du XXè siècle) s'accompagne d'une confrontation entre la mécanique et l'électromagnétisme, envisagée de diverses façons suivant les auteurs, en particulier par la réforme du cadre conceptuel effectuée par la théorie de la relativité restreinte. Le principe de relativité généralisé pour les mouvements quelconques, résolvant le problème de la gravitation avec la théorie de la relativité générale, détermine la compréhension finale de la notion de « principe de relativité », pourvue désormais d'une fonction théorique, couronnée par les notions d'invariances et de symétries de la physique actuelle. ([1999h]).

La vitesse

J'ai suivi l'évolution du concept de *vitesse*, avec l'article *« Histoire rapide de la vitesse (le concept physique) »*. Après avoir rappelé quelques éléments de nature générale, anthropologique et culturelle, mais aussi physiologique, sur la notion de vitesse, préalables à sa constitution en concept scientifique, on parcourt les étapes importantes de l'histoire de sa conceptualisation physique. La première débute avec Aristote et la conception qualitative du mouvement et se poursuit jusqu'aux Médiévaux et à la Renaissance, avec la doctrine de l'*impetus*, la distinction entre mouvement naturel et mouvement violent, et l'absence, voire l'impossibilité, d'une véritable mathématisation. La deuxième période est celle de la formulation de lois du mouvement par la mathématisation de la vitesse, de Galilée à la mécanique de Newton et à la physique classique, où la puissance du concept s'établit dans son expression par le calcul différentiel. La troisième période est celle de la prise en compte des actions propagées de proche en proche à vitesse finie, de la critique de la simultanéité, de la vitesse de la lumière comme vitesse limite : la théorie de la relativité reconstruit la vitesse sur une nouvelle conception de l'espace et du temps. Cette période se prolonge plus récemment dans d'autres aspects qui concernent la physique des particules quantiques et la cosmologie. ([1997h]).

Les trois dimensions de l'espace et les quatre dimensions de l'espace-temps.

Dans *« Les trois dimensions de l'espace et les quatre dimensions de l'espace-temps »*, j'étudie le problème de la dimensionalité de l'espace, du temps et de l'espace-temps, du point de vue des mathématiques, de la physique et de l'épistémologie dans une perspective historique, qui le fait voir dans sa relation générale et particulière à la question de l'abstraction des grandeurs d'expression mathématique et de leur rapport au monde physique. Il comprend les aspects suivants. 1. Remarques introductives. Naturalité et abstraction - 2. Les trois dimensions de l'espace. Nombres - Grandeurs - Relations et abstractions - Courbures physiques - Physiologie des trois dimensions - Topologie - Continu mathématique et coupures. 3. Les quatre dimensions de l'espace-temps. Des étrangers parallèles - Espace simultané, temps sans extension - Une quatrième dimension possible - Variétés continues et différentiables - La quatrième dimension nécessaire. L'espace entre dans le temps - Espace-temps physique : dimensions courbes - Spécificité de la quatrième dimension. 4. Remarques terminales : physique et dimensionalité. Le texte est accompagné d'une bibliographie détaillée. ([1998e] ; voir aussi [1999m]).

Dans *« La quatrième dimension de l'espace-temps »*, je reprend l'examen du concept de temps physique (étudié antérieurement dans sa relation aux phénomènes, en 1994) comme quatrième dimension de l'espace-temps. Son association aux coordonnées d'espace est, en fait, bien antérieure à la théorie de la relativité et remonte à son introduction comme la variable des équations de la dynamique (avec Galilée), déterminant une relation propre entre la mécanique et la géométrie qui accompagne la mathématisation de la mécanique, obtenue grâce à la considération opératoire de la continuité du temps aussi bien que de l'espace (par l'analyse, à partir de Newton). En ce sens, d'Alembert et Lagrange pouvaient parler du temps comme d'une quatrième dimension ajoutée aux trois d'espace. La théorie de la relativité établit une prise en compte plus complète du caractère physique du temps, en l'insérant dans un espace-temps « sans couture » (Einstein, Poincaré, Minkowski), où sa liaison structurelle aux grandeurs spatiales (relativité restreinte), puis à la matière elle-même (relativité générale), est indissoluble. Toutefois, cette relation de structure garde à la dimension temps de l'espace-temps une spécificité dont la nature suscite encore le débat. (Séminaires, 1998, et article en prép.).

L'article *« L'espace-temps de la théorie de la relativité »* développe l'argument suivant. L'espace-temps de la théorie de la relativité est une construction conceptuelle formulée pour rendre compte d'un certain ordre de phénomènes physiques. Avec la théorie de la relativité restreinte, le temps est mis dans la dépendance de lois générales des phénomènes qui sont l'objet de la mécanique et de l'électromagnétisme : il est constitué comme grandeur physique de manière à respecter le principe de relativité de la mécanique et la constance de la vitesse de la lumière indépendamment du mouvement de la source lumineuse, loi fondamentale de l'électromagnétisme. L'espace-temps ainsi construit lie indissociablement les coordonnées d'espace et le temps, sous le signe d'une causalité qui exclut les actions instantanées, mais il reste un cadre inaltérable pour les objets et les phénomènes physiques, lesquels sont sans influence sur lui qui les

contient. Quant à la théorie de la relativité générale, elle modifie la signification physique de l'espace et du temps, dont elle fait de simples coordonnées dans une variété déformable. l'espace-temps, dont la structure est donnée non plus par les distances euclidiennes des corps rigides et les horloges invariables, mais par la forme du champ de gravitation. A partir de cette nouvelle construction, l'espace-temps n'est plus concevable comme un cadre indépendant des phénomènes et conditionnant ces derniers, mais comme, au contraire, déterminé par eux. La cosmologie moderne accentue ce caractère en montrant comment le temps (et, avec lui, l'espace-temps) voit sa signification physique déterminée à chaque étape de l'évolution de l'Univers par les lois qui gouvernent l'état de la matière dans les conditions correspondantes. [2001j].

Le concept de temps, la causalité et l'irréversibilité.

Plusieurs articles traitent du concept de temps proprement dit.

Le premier, « Sur l'histoire du problème du temps. Le temps physique et les phénomènes », traite des sujets suivants. L'idée de temps, le temps de l'histoire et le temps physique. Géométrisation du temps et construction du temps instantané. De l'assimilation du temps différentiel à la critique du temps. Le temps dans la dépendance des lois générales des phénomènes et l'espace-temps de la Relativité restreinte. Le temps et la dynamique des phénomènes: l'espace-temps matériel de la Relativité générale et l'échelle physique du temps de la cosmologie. Remarques sur le temps en thermodynamique, sur la flèche et sur le cours du temps ([1994f]).

Le second, « Réflexions sur le concept de temps »› rappelle tout d'abord la diversité des expériences et des consciences du temps, montrant comment le temps des sciences et de la physique est relié à cette expérience et à cette conscience qui en est prise, notamment en ce qui concerne le rapport entre l'instant et la durée. On s'efforce ensuite de tirer deux leçons des développements sur le concept de temps tel qu'il se présente en physique. La première est que le concept de temps est *construit* par la pensée, et ne nous est pas directement donné, soit par la nature, soit par notre « sens interne ». Cela apparaît, notamment, avec l'introduction du temps comme paramètre de la dynamique par Galilée, puis avec la définition du temps « absolu et mathématique » par Newton en vue de constituer le « temps instantané » de la loi fondamentale de la mécanique, et enfin avec la critique des limites de cette conception qui aboutit à la formulation de la relativité du temps et de son lien de constitution à l'espace (construction de l'*espace-temps*). La seconde leçon est que le temps se définit et se détermine *par les phénomènes* (et les objets) de la nature (qui se ramènent aux propriétés de la matière), alors qu'on a longtemps cru l'inverseOn le voit déjà avec la *soumission du temps*, dans la reconstruction du concept effectuée par Einstein, *à des principes physiques* (avec la relativité restreinte), et plus fortement ensuite avec sa *détermination*, conjointement à l'espace (dans l'espace-temps), *par les champs de gravitation*, qui sont des propriétés de la matière. Ce caractère est également confirmé par la deuxième loi de la thermodynamique et par les développements récents de la cosmologie. ([2001m])

Un autre travail, intitulé *« Invention et origines de la quatrième dimension de l'espace-temps »*, revient sur l'introduction du *temps instantané* et sa

mathématisation, qui commence avec l'expression de la loi fondamentale de la dynamique (deuxième loi de Newton), en précisant sur plusieurs points les études précédentes (II.3.2, p. 43). (Exposé aux *Rencontres de Cargese Espace et Physique*, 24 février-2 mars 2002 ; article [à paraître,ff]).

La masse. Le concept de vide et ses transformations (le vide matériel).

J'ai examiné l'évolution du concept de *masse*, de la masse invariable de Newton et de la physique classique (dont la définition avec la force et l'accélération est circulaire) à celle de la physique actuelle, relativiste (variable avec la vitesse et équivalente à l'energie) et quantique, avec ses implications sur la gravitation et en cosmologie.([1999n]). J'ai également étudié l'évolution de la notion de *vide*, de son identification ancienne au non-être à la distinction qui rend possible une pensée physique du vide, à la mise en évidence de son existence, et à son rapport à la pensée de l'espace, avec l'éther comme matière du vide, remplacé par les conceptions contemporaines de la relativité générale (l'espace vide, forme de la matière), de la physique quantique (le vide physique) et de la cosmologie (la matière crée l'espace). ([1998d]).

II.3. 9 (K) MATHEMATISATION ET PREDICTIVITE

Ce thème recouvre notamment les rapports des mathématiques et de la physique, le problème de la mathématisation des théories et des concepts de la physique et des raison de leur efficacité, mais aussi le rapport des théories aux expérinces. Souvent considéré comme énigmatique, le rapport des mathématiques et de la physique est l'une des questions fondamentales de la philosophie des sciences et de l'épistémologie de la physique. Il est au coeur des interrogations les plus précises comme celles sur la nature de l'utilisation des probabilités en physique ou sur le succès de la notion de symétrie. C'est lui encore qui gouverne toutes les approches de l'unification de cette science et des champs fondamentaux qu'elle considère, et il est toujours sous-jacent à ces questions, telles qu'elles ont été abordées dans les travaux mentionnés ci-dessus. J'ai examiné par ailleurs dans des études plus systématiques divers aspects du rapport des mathématiques à la physique, tant du point de vue épistémologique et philosophique que du point de vue historique.

Mathématisation et accord avec l'expérience.

L'univers est-il mathématique ? Cette question a donné lieu à un travail sur « *Mathématisation et accord avec l'expérience* ». La nature très élaborée des expériences de physique (du point de vue de la formalisation et de celui de la précision) invite à s'interroger en premier lieu sur la part relative, dans leur propos et dans leurs résultats, de la confirmation et de l'innovation. Cette question est liée à d'autres, sur la notion de prédiction, sur la notion d'accord. Plus profondément, on est amené à creuser la notion d'« outil mathématique », qui déborde la signification instrumentale. Quand on dit que la représentation physique est mathématique, c'est-à-dire que les mathématiques sont la contrepartie symbolique, dans la pensée, de la réalité matérielle de l'univers, l'on se trouve confronté à la question 'énigmatique' (sans cesse précisée, mais peut-être sans

fond), de savoir si 'l'univers est mathématique'. La nature effective des relations entre mathématiques et physique (par exemple, aujourd'hui, les moyens mathématiques de l'unification) éclaire cette question d'une manière nouvelle à chaque étape. [1984f].

La prédictivité due aux mathématiques.

Le lien étroit qui relie, en physique, la prédictivité à la mathématisation, a été abordé dans un article [1978q] et dans un chapitre de *La matière dérobée* [1988a] (chap. 9), à partir de l'analyse de cas pris dans la physique contemporaine. L'exemple de la prédiction théorique d'une particule élémentaire devenue aussi importante aujourd'hui que le neutrino, mais qui a commencé sa carrière comme une simple "hypothèse mathématique", est tout à fait propre à faire comprendre ce qu'est la prédictivité en physique théorisée (prédiction d'objet ou de phénomène réel), et à éclairer le rôle respectif des concepts mathématiques et des grandeurs et des principes physiques. Il en ressort que la prédictivité porte d'emblée sur des grandeurs ou propriétés physiques (ce n'est qu'à partir de celles-ci, et non de relations mathématiques pures, que l'on en prédit d'autres), et que les mathématiques (dont la conceptualisation propre reste présente dans le contenu même des grandeurs physiques mathématisées) permettent la mise au jour des relations « organiques » ou « systémiques » entre ces grandeurs ou ces propriétés, inapeçues au départ, mais présentes dans la réalité.

Prédicat d'existence et prédictivité d'un objet théorique en physique

J'ai étudié la signification d'un prédicat d'existence en théorie physique dans un article sous ce titre. La question de l'évidence (expérimentale) pour une entité physique particulière (« objet physique », que ce soit une particule quantique, un courant neutre, etc.), fait appel à des notions fondamentales qui sont actuellement très discutées en philosophie des sciences. On commence par indiquer que cette question demande de dépasser l'opposition généralement admise entre les points de vue de l'étude historique ou de la reconstruction logique (correspondant à une dichotomie de la philosophie et de l'histoire des sciences, et l'adoption d'une conception plus dynamique des rapports de la philosophie et de l'histoire. L'existence d'un « objet physique » peut être, en effet, considérée sous l'angle de l'évolution des théories et des concepts ou sous l'angle structural. Chacun des deux points de vue (l'historique et l'analytique) permet de préciser les données du problème et de tirer des leçons épistémologiques (rationnelles) des faits de l'histoire des sciences. La comparaison des deux - non pas l'ignorance ou l'incompatibilité mutuelle - s'avère instructive sur plusieurs aspects décisifs de la signification des connaissances. [1993g, 1997b].

Interprétation physique de la géométrie, ou construction géométrique de la physique ?

Le rapport de la géométrie et de la physique a suscité la réfflexion des mathématiciens, des physiciens et des philosophes, tant à l'occasion de la découverte des géométries non-euclidiennes qu'à propos de la théorie de la relativité générale. Lea question du rapport de ces nouvelles géométries, et de la

géométrie en général, au réel, à l'espace physique ou aux déplacements des corps matériels, a préoccupé aussi bien Gauss que Riemann, Helmholtz et Poincaré, les philosophes empiristes que les néo-kantiens. Le apportait un à l'opposition . La théorie de la relativité générale a été l'occasion d'une réactivation de ce débat, où l'on voit l'opposition traditionnelle entre l'empirisme et le rationalisme dépassée, non plus par un moyen terme comme le conventionalisme, mais par la prise en compte du rôle effectivement tenu par la construction de la théorie physique, orientée vers la représentation du monde physique, mais empruntant l'expression de ses grandeurs fondamentales à la géométrie. C'est ce qui ressort de la conception que l'on peut appeler réaliste critique, telle qu'Einstein lui-même a pu la formuler, qui, tout en tenant compte des mleçons de l'empirisme, se situe dans le prolongement et dans la critique du kantisme et du conventionalisme. A l'idée d'une interprétation physique de la géométrie formulée par les empiristes logiques, on est fondé à opposer celle d'une construction géométrique de la physique, qui implique une toute autre ouverture philosophique que la seule « dissolution du synthétique *a priori* ». ([1989g], et *Einstein philosophe*, [1993a], chapitres 6 et 7).

La philosophie et la physique

Dans « *La philosophie et la physique* », j'esquisse un tableau d'ensemble des rapports de ces deux modes de pensée, depuis leur commune implication à partir de « l'arbre de la philosophie » puis à la séparation du surgeon, dans une autonomie relative qui s'établit à partir du XVIIIè siècle, avec la mise en place d'une nouvelle configuration des connaissances. L'on passe ainsi de la métaphysique à l'épistémologie, suivant divers niveaux de signification, dont la l'autonomie n'est pas exempte de relations. On s'attache à ce qui fait désormais la spécificité de la physique parmi les autres sciences, à savoir sa constitution par les mathématiques et l'adéquation de ces dernières à la description du monde physique. On rappelle la structure systémique des théories physiques, et on la relie à la mathématisation des grandeurs qui expriment les concepts sous la règle des principes. On évoque les deux problèmes limites que sont le sujet de la connaissance et la réalité du monde physique, on indique les deux fonctions de l'expérience et la nature de la construction théorique. Reste, pour la réflexion sur la physique, à « penser les changements ». (L'article « *La philosophie et la physique* » constitue un chapitre du volume 4 de l'*Encycloppédie philosophique* des PUF, sur *Le Discours philososophique*. Il comporte : Introduction.- La physique et l'arbre de la philosophie : de tronc à surgeon séparé.- Configuration des connaissances.- De la métaphysique à l'épistémologie.- Niveaux de signification. Autonomie et relations.- Adéquation des mathématiques.Structure systémique des théories physiques.- La mathématisation des grandeurs.- Sujet de la connaissance et réalité du monde physique.- Les deux fonctions de l'expérience et la construction théorique.- Penser les changements.- Bibliographie. Plusieurs extraits de textes sont donnés à l'appui (Galilée, Descartes, Newton, D'Alembert, Kant, Lagrange, Laplace, Riemann, Boltzmann, Mach, Poincaré, Duhem, Einstein, Bohr). ([1998b]).

La notion de grandeur et la légitimité de la mathématisation en physique.

Préoccupé depuis longtemps de la question du rapport privilégié entre les mthématiques et la physique, qui se marque notamment dans la prédicitivité des théories, je l'ai étudiée « à sa base », pour ainsi dire, en examinant la notion de grandeur (physique et mathématique), dans une étude sur « la notion de grandeur et la légitimité de la mathématisation en physique ». Newton justifiait son utilisation des mathématiques dans la mécanique par sa conception néo-platonicienne du monde physique, qui allait de pair avec ses concepts mathématiques, vrais et absolus, tels que l'espace, le temps, le mouvement, la force, etc. Mais la physique, après lui, tout en étant centrée sur la dynamique newtonienne, donna à sa mathématisation une légitimité différente, comme on peut le constater déjà avec les travaux des 'Géomètres' du XVIIIè siècle tels que Euler, Clairaut et d'Alembert, suivis de Lagrange, Laplace et d'autres. Bien qu'héritiers de l'œuvre de Newton, ils comprenaient autrement la signification et l'utilisation de grandeurs mathématiques pour la physique, d'une manière plus détachée de la métaphysique. La réception continentale et l'assimilation des *Principia* de Newton s'était effectuée comme une greffe de la physique newtonienne, du calcul différentiel et intégral leibnizien et d'une conception cartésienne de la rationalité (répandue en premier lieu par les disciples malebranchistes de Leibniz). Cette nouvelle pensée de la mathématisation de la physique n'est aucunement un retour à l'identification cartésienne de la physique à la géométrie, mais on peut cependant le rapporter à la conception des grandeurs de Descartes telle que ce dernier la développa et l'analysa à l'aide de la notion de dimension dans ses *Regulæ ad directionem ingenii* (en particulier la règle 14). On peut suivre le fil de cette idée dans les conceptions sur la physique des générations suivantes, selon des spécifications davantage philosophiques ou mathématiques selon les auteurs, avec Kant, Riemann et d'autres. Cette enquête sur la pensée originaire des grandeurs mathématiques et des grandeurs physiques conçues selon leurs mathématisation, m'a conduit à envisager que le sens de cette notion pourrait bien n'être pas restreint à l'acception courante qui en fait une simple entité « à valeurs numériques », puisque la signfication première et fondamentale d'une grandeur physique porte sur sa fonction relationnelle et structurale. Une telle extension de sens pour le concept de grandeur physique à d'autres formes mathématiques plus complexes et moins directement reliées à l'observation directe aurait des implications immédiates sur notre compréhension d'aspects « non classiques » de la physique contemporaine, dans le domaine quantique et dans celui des systèmes dynamiques (voir 2.4, et ci-dessous). (L'exposé en anglais a été donné à la *Conference on the philosophy of Marx Wartofsky*, New School University, New York, 6 mars 1999 ; article [2003h]. L'exposé en français a été donné à la *Deuxième Journée de philosophie des sciences Jean Largeault*, Université de Paris-Sorbonne (Paris-4, Paris-1 et Univ. Strasbourg 2-Marc Bloch, Institut Universitaire de France, 7 mai 1999 ; article [2001h]).

Grandeurs physiques et systèmes dynamiques.

Les systèmes dynamiques apportent à nos conceptions de la connaissance en physique des éléments conceptuels nouveaux qui demandent à être interprétés. Par exemple : quel est le statut physique des « attracteurs étranges » ? s'agit-il

d'entités seulement mathématiques ? On propose, dans cette perspective, un ré-examen épistémologique de la notion de grandeur physique pour ce genre de phénomènes, dans la direction indiquée plus haut. La fonction théorique fondamentale de ces grandeurs est d'exprimer des relations (exactes, quantitatives). Avec la physique des systèmes dynamiques, les relations significatives ne sont plus celles qui déterminent les trajectoires particulières, en raison de la sensibilité aux conditions initiales, dont les variations peuvent être amplifiées arbitrairement. Pourtant le déterminisme de ces systèmes demande, si l'on veut garder toute sa force à la fonction théorique et représentationnelle des grandeurs physiques, de se donner de ces dernières une conception qui aille au-delà de quantités (à valeurs numériques) directement liées à l'observation, en les élargissant à des expressions mathématiques plus complexes et à un lien plus indirect à l'observation. Par exemple, en dotant les attracteurs étranges du statut de grandeur physique, caractéristique du type de comportement d'un système. (Exposé aux Journées *Epistémologie des systèmes dynamiques*, Paris, 25-26 nov. 1999). ([à paraître,c]).

J'ai dirigé deux thèses sur l'épistémologie des systèmes dynamiques, l'une (en-co-direction) sur l'aspect mathématique (Tatiana Roque, de l'Université Fédérale de Rio de Janeiro), l'autre sur l'aspect physique (Sara Franceschelli, à l'Univ. Paris 7). Ces deux recherches conjointes offrent la possibilité de rapporter les unes aux autres les déterminations physiques et mathématiques des variables concernées, éclairant ainsi leur signification théorique. Ces deux doctorantes et moi-même avons organisé en novembre 1999 une rencontre de deux jours entre mathématiciens, physiciens, épistémologues et historiens des sciences, sur l'*Epistémologie des systèmes dynamiques*, donnant lieu à un livre en co-direction ([à paraître,H]. Si le thème des systèmes dynamiques est d'actualité du point de vue scientifique et à la mode du point de vue de la « popularisation », il s'en faut que son approche épistémologique, fondamentale si l'on considère les problèmes de type nouveau qui sont en jeu, ait fait l'objet jusqu'ici de recherches suffisamment précises. C'est à cela que ces travaux tendent à remédier.

Genèse de la causalité physique

Les notions ou catégories de causalité et de déterminisme ont accompagné la formation des sciences modernes, et en premier lieu celle de la physique. L'usage courant de nos jours tend souvent, à tort, à les confondre, dans les remises en cause qui en sont faites en physique même. Nous nous proposons, dans ce travail, de clarifier la première de ces notions, en suivant son élaboration avec les débuts de la dynamique, à travers ses premières mises en œuvre et conceptualisations qui accompagnent la mathématisation de la mécanique, avant d'être étendue à la physique d'une manière générale. Nous verrons comment, tout en s'appuyant sur l'un des aspects philosophiques traditionnels de l'idée de causalité (celui de « cause efficiente »), la causalité physique s'établit en rupture avec le sens métaphysique qui lui était précédemment attaché. Bien plutôt que dans les Principia de Newton, c'est dans la ré-élaboration par d'Alembert, dans son Traité de dynamique, des lois du mouvement formulés comme des principes, et exprimées par le calcul différentiel, que l'idée de causalité physique est

expressément considérée indissociablement de son effet, qui est le changement de mouvement. Les pensées respectives de Newton et de d'Alembert sur les notions de cause et de force sont à cet égard en opposition en ce qui concerne la nature proprement physique de ce changement, considéré par d'Alembert comme immanent au mouvement, selon la cause circonscrite par son effet, alors qu'il reste mathématique et métaphysique dans la conception newtonienne de la force externe, comme substitut mathématique des causes, telle qu'elle se proposait avant Lagrange. C'est la conception physique, héritée de d'Alembert, qui devait par la suite prévaloir, à travers la mécanique analytique lagrangienne, qui permettait de réintégrer le concept de force dans sa transcription eulérienne. ([2004g])

Les avatars ultérieurs de la notion de causalité, qui comprennent la causalité relativiste et les développements sur le déterminisme, font l'objet du travail complémentaire qui suit.

La notion de déterminisme en physique et ses limites.

L'idée de déterminisme, proposée pour étendre et généraliser la causalité physique, ajoutant en particulier la considération des conditions initiales, se constitua dès lors comme la référence idéale et considérée comme indépassable de toute connaissance scientifique. Cet idéal devait toutefois se voir dépassé dans plusieurs directions. D'une part, la causalité physique classique se transforma en causalité relativiste, comportant des restrictions sur les possibilités des rapports spatio-temporels et suscitant, avec la relativité générale, l'idée de complétude théorique, méta-concept qui permet de formuler des conditions internes de perfectionnement théorique. D'autre part, le déterminisme proprement dit devait connaître des limitations de sa portée en physique classique même, avec la considération des systèmes dynamiques «non linéaires», déterministes, mais dont le comportement peut être totalement non-prévisible à terme. Enfin, la causalité et le déterminisme se sont vus remis radicalement en question avec l'élaboration de la physique quantique. Le sens exact de ces remises en cause est directement lié aux questions d'interprétation de la théorie quantique : équation causale et problème de la « réduction » de la fonction d'état, d'un côté, prédictions probabilistes, d'un autre côté. Les deux aspects se retrouvent dans la question de la limitation des représentations spatio-temporelles et de sa signification du point de vue théorique. Il faut donc concevoir les problèmes d'interprétation de la théorie quantique en termes du rapport entre la causalité, le déterminisme, et les grandeurs qui portent les contenus physiques effectifs. On est ainsi amené à s'interroger sur un sens directement physique des grandeurs mathématiques de la théorie et, si un tel sens est assignable, à considérer les catégories en question par rapport aux concepts théoriques réellement appropriés, avec comme effet de les « remettre sur leurs pieds ». Cela est du moins possible pour la causalité, ainsi que pour la complétude. Quant au déterminisme, il ne peut être, dans sa formulation usuelle, que statistique, et reste ainsi très en-deçà des possibilités des perspectives théoriques. Ces transformations laissent entrevoir l'impératif d'une autre catégorie, plus fondamentale qu'elles car indépendante des choix conceptuels et théoriques, et pourtant souvent omise dans les débats : celle de nécessité, régulatrice des

autres catégories et systèmes de concepts. ([2003g])

La notion de complétude en physique

Reprenant l'examen de l'idée de « complétude théorique » (étudié antérieurement dans [1988f]), aussi bien au sens logico-mathématique qu'au sens physique, j'y vois l'idée de parvenir, par une opération formalisée interne au système théorique considéré, à un *recouvrement* total de propositions ou d'énoncés de propriétés par voie démonstrative sans adjonction d'éléments extérieurs. Ce qui diffère, dans les diverses conceptions, ce sont les termes du recouvrement. Le recouvrement logico-mathématique pur serait celui obtenu par la seule déduction. Avec la théorie physique, une idée étrangère aux mathématiques pures intervient, qui est celle de correspondance de la théorie avec le monde physique, les phénomènes, la réalité. La question de la complétude change alors de signification par rapport au sens originel considéré pour les mathématiques : il ne s'agit pas de fermeture logique de la théorie, mais d'une caractéristique de cette dernière en tant qu'elle est *représentation physique*, et elle concerne *la forme et le contenu*, la forme en vue d'un contenu, la forme en tant qu'elle exprime un contenu. Elle concerne, précisément, le rapport de la forme (mathématique) et du contenu (physique, voire « empirique », en ce qu'il est en relation à l'expérience). L'échec du projet de complétude au sens de fermeture logique pour les théories mathématiques laisse donc ouvert le problème de la complétude au sens de la théorie physique. On analyse alors trois sens de la complétude en physique : deux sens conceptuels, ceux illustrés par Einstein à propos de la relativité générale (sens fort) et de la mécanique quantique (sens faible), et un sens logique relatif à la décidabilité ou non de la formulation mathématique de théories physiques. (Séminaire 1999, [en prépar.]).

Statut des probabilités en physique. Réalité et probabilité.

Un autre thème sur lequel a porté ma réflexion concerne le statut des probabilités en physique, notamment en physique quantique. C'est, en effet, à cette question que renvoient toujours, en fin de compte, les problèmes épistémologiques de cette discipline (en particulier, l'inséparabilité et la mesure), qui suggèrent de considérer les probabilités comme une qualification des systèmes physiques, en dépassant la conception qui en fait une mesure de fréquences (1982a, 1986a, 1988a). J'ai abordé la question du rapport entre réalité et probabilité sous un angle plus général en examinant les conceptions du philosophe Mario Bunge sur ce sujet. A partir de l'interprétation objective des probabilités de Bunge, discutée en resituant la question de l'utilisation des probabilités en physique dans son évolution historique, je me suis attaché à mettre en évidence le caractère toujours spécifique de cette utilisation en fonction du domaine de physique concerné, de la mécanique statistique à la physique quantique. La théorie mathématique des probabilités est peut-être à la physique quantique dans un rapport analogue à celui de la géométrie à la Relativité générale. Si les probabilités participent du formalisme mathématique de la théorie physique, c'est-à-dire si elle lui sont inhérentes et pas seulement superposées, on doit penser ce rapport non pas seulement en termes d'*interprétation* (des probabilités) mais en termes de *construction* de la théorie physique, comme c'est à

vrai dire le cas de toute mathématisation de la physique. C'est un trait général de la théorie physique que sa signification (interprétation) doit être considérée à partir de sa structure formalisée. Je propose d'en tirer quelques conséquences relatives à d'autres domaines d'application des probabilités (par exemple, la théorie des systèmes dynamiques et du chaos) [1990f].

La nature des modèles théoriques. Réflexions sur la notion de modèle

Dans « Notes sur les modèles et la modélisation », je propose des éléments de réflexion pour clarifier certaines notions, en particulier par la comparaison entre les diverses acceptions des termes de modèle et de modélisation suivant leurs domaines d'utilisation. Je discute, en particulier, la question du réalisme du modèle, et j'analyse la notion de modèle théorique en physique, en particulier dans les expressions « modèles théoriques » ou « modèles standard » [1995d].

Le statut de l'expérience en physique ; mesure, expérience et objet théorique.

Le statut des expériences en physique est plus complexe qu'il n'y paraît, même au stade où l'on admet la validité du résultat expérimental. Car, ce résultat admis, se pose la question de sa signification. Pour l'empirisme (de l'empirisme logique à ses formes plus récentes), la question de la signification ne se pose pas au niveau du résultat expérimental lui-même, puisque c'est à lui que sont rapportées, fût-ce indirectement, les significations des propositions théoriques. Pourtant, si l'on pense qu'il y a une différence entre des énoncés qui expriment seulement des résultats d'expérience (par exemple, certains types de lois), et les théories, qui sont des constructions conceptuelles en forme de systèmes, et si l'on considère, dans cette perspective, qu'une théorie physique n'est pas simplement un 'système formel interprété', mais un système de concepts qui comprend les interprétations comme un effet de l'organisation systémique même, il faut admettre que le résultat expérimental ne porte pas lui-même sa signification. Comment justifier que ce soit de l'instance théorique qu'il la reçoive? et sous quelles modalités?

La discussion philosophique reçoit ici le renfort précieux de l'analyse épistémologique et historique sur les circonstances réelles, fournie par les études de cas, comme celle de la célèbre expérience de Michelson et Morley et de son rôle par rapport à la théorie de la Relativité restreinte, qui est un bon témoin de la variabilité des significations à attacher à un résultat d'expérience, en fonction de la conception que l'on se fait de la nature de la théorie considérée et de son objet. La question se pose tant au niveau des travaux de « découverte » (étudiés de manière comparative) qu'à celui de la réception, sous des formes spécifiques dans chaque cas.

Les circonstances de la validation apparaissent différentes selon le type de théorie proposée (théorie purement cinématique ou théorie dynamique, modification du cadre conceptuel ou mécanisme d'explication). Le degré d'acceptation de la théorie (sur la base d''évidences' de nature empirique) est indiscutablement plus élevé dans le second cas, et apparaît donc être davantage fonction d'une idée normative sur la théorie que de l'administration particulière

d'une preuve expérimentale (toutes choses égales par ailleurs, la validation expérimentale étant admise).

En physique, l'expérience prend la forme de la mesure, pour aboutir à un résultat numérique, qui implique les notions d'ordre de grandeur et de précision. Le jeu - complémentaire plus que contradictoire - de ces deux caractères est un effet de l'imbrication du concept, porteur d'un contenu, et de sa forme mathématique. L'instrument de mesure, quant à lui, prépare et détermine les conditions de la production du phénomène, lequel constitue le véritable objet de l'expérience. Mais en tant que tel, justement, le phénomène ne se laisse pas réduire exactement aux conditions définitoires de la préparation: il implique que la précision doive être considérée de manière relative, dans la marge de l'interprétation. Parce que le rôle de l'instrument n'est pas seulement de fournir la "mesure" mais de produire le "phénomène", la conclusion à tirer d'un résultat expérimental, aussi précis fût-il, ne peut être une inférence immédiate. La notion de mesure ne peut éluder la question de l'interprétation du phénomène, c'est-à-dire de la signification qu'on lui accorde, et celle-ci entretient un rapport étroit avec la nature de l'objet théorique, sur lequel porte, en définitive, l'interprétation. Des exemples, pris dans l'histoire de la physique, permettent d'expliciter les analyses proposées. [1992g, 1994a].

Addition, janvier 2008.
La mathématisation de la physique.

Mes enseignements à l'Université Paris 7-Diderot (Mastère 1 & 2) en 2006 et en 2007ont porté (et ceux prévus en 2008 porteront) sur la *Philosophie de la physique* (2007 : Introduction à l'ensemble du cours, Temps et causalité de la Physique classique, Temps et causalité : la Relativité », au total 9 h ; 2008 : Epistémologie de la physique quantique). La mathématisation de la physique, avec ses raisons et ses modalités, est une dimension fondamentale des problèmes abordés. Mes enseignements portent aussi (2006, 2007, 2008) sur l'*Histoire de la physique*, en l'occurrence sur la mathématisation de la mécanique, qui concerne aussi le thème précédent (explicitement, *La mathématisation de la physique au XVIIIe siècle*. 1. Panorama, origines, héritages. – 2. Mécanique, dynamique, sciences physico-mathématiques. Le style analytique.- 3. Astronomie mathématique et hydrodynamique.- 4. La voie de la physique mathématisée et le "grand clivage", au total 12 h).

Par-delà la mécanique, c'est toute la physique dans ses diverses branches (optique, électromagnétisme, thermodynamique) qui se trouve ensuite l'objet d'une mathématisation, entraînée par la mise au jour des concepts pertinents pour chacune et des lois générales (*principes*) auxquels ils sont soumis. Mes études sur « La notion de grandeur physique » et sur « Les concepts de la physique » m'ont permis de mettre en évidence les raisons profondes de la mathématisation de la physique, que les pensées de Descartes et de Riemann, en particulier, aident beaucoup à éclairer. L'expression des concepts physiques comme des grandeurs relationnelles, de forme mathématique, et la spécification (par restrictions ou contraintes sur les relations possibles) que leur donne la soumission à des « principes physiques » comme lois générales des

phénomènes implique d'une manière générale cette mathématisation. (Cf. Les concepts de la physique : contenus rationnels et constructions dans l'histoire (republication en 2005 d'un travail de 2001, et trad. en angl. : [2006c] ; trad. port. [2006j]).

Si l'on admet que les relations mathématiques entre les grandeurs physiques ne sont pas restreintes à des rapports numériques, on peut mieux comprendre comment les grandeurs physiques en physique quantique sont celles-là mêmes de la théorie formalisée, et non celles simplement données dans l'observation (voir le thème de *l'intelligibilité de la physique quantique*). On peut également élargir la conception des grandeurs physiques aux nouvelles approches des systèmes dynamiques non linéaires (attracteurs) (voir : La notion de grandeur physique et les systèmes dynamiques [2007f]).

Un autre aspect du rapport entre la physique et les mathématiques est celui qu'il est possible de caractériser comme un « entraînement de la forme (et de la pensée) mathématique sur la pensée physique », dont on trouve un cas remarquable dans le travail dEinstein sur la relativité générale (gardant la condition de covariance pour les transformations de coordonnées en abandonnant leur sens physique habituel, euclidien, et leur retrouvant un nouveau sens physiques au terme du travail théorique). On peut considérer que c'est de cette manière, avec des grandeurs et des contraintes différentes, que s'est effectuée la fomulation de la mécanique quantique dans les travaux de ses fondateurs, la signification physique des grandeurs du « formalisme » étant acquise et justifiée progressivement par la suite à la faveur de l'étude précise des phénomènes spécifiquement quantiques. La forme des relations mathématiques et les contraintes correspondantes sont alors justifiées par la conformité de la théorie aux phénomènes, d'une manière pour ainsi dire interne (ou immanente à la théorie physique), sans besoin de recourir à une interprétation externe (et en fait « philosophique »), comme « le point de vue de la complémentarité » et l'observationalisme. Cette considération converge avec les résultats de l'approche mise en œuvre dans mes recherches sur « l'intelligibilité du domaaine quantique »).

(Fin de l'Addition de janvier 2008).

II.3. 10 (L) PENSEE SCIENTIFIQUE ET SIGNIFICATION

Je regroupe sous ce titre les études qui portent sur la philosophie de la connaissance dans une perspective plus générale que la seule physique, et qui traitent de thèmes comme la formalisation, l'empirique, le réel, la rationalité, le caractère constructif, l'abstraction, la référence, l'intelligibilité, l'historicité, etc…

Les thèmes qui précèdent constituent autant de points d'application du rapport science-philosophie. Comprendre ce rapport est essentiel pour la pensée de la science. Mais c'est également une condition d'existence pour une philosophie des sciences au sens plein du terme. L'imbrication des sciences et de la philosophie se saisit tout d'abord dans l'approche des problèmes scientifiques

eux-mêmes, dans la formulation des propositions. Certes, une perpétuelle décantation s'avère nécessaire. Mais c'est dans le surgissement même de la nouveauté en science que se manifeste la dimension philosophique des problèmes scientifiques pour peu qu'ils soient fondamentaux. De cette dimension, on remarque éventuellement les effets (par exemple, les conceptions sur l'espace et le temps issues de la théorie de la relativité, ou celles sur la causalité, suscitées par la mécanique quantique), mais on remonte rarement à la cause qui en est, précisément, la nature philosophique de la nouveauté scientifique et du travail (scientifique) qui aboutit à la mettre au jour. Ce lien indissociable, dans la pensée fondamentale d'une science comme la physique, et dans le travail même de création scientifique, entre science et philosophie, je ne l'entends pas, bien entendu, au sens de l'application, en science, d'une philosophie donnée quelle qu'elle soit, mais à celui d'une dimension proprement philosophique du travail scientifique. Le départ, ultérieur, entre science et philosophie se fait peut-être dans le moment où la science en question, ayant assimilé sa 'nouveauté', s'est reconstituée en un schéma de pensée autosuffisant, qu'il est désormais possible de considérer de l'extérieur.

Cette imbrication de la science et de la philosophie, qu'il est important de saisir en tant que telle, mais aussi, immédiatement, de différencier par l'analyse des propositions, apparaît ainsi: d'une part, au niveau du travail qui mène à la découverte, pour peu qu'il soit à quelque degré fondamental (comme la science, et en particulier la physique, contemporaine nous en fournit maint exemple); d'autre part, dès lors que se pose le problème de l'interprétation, et qu'il s'agit de relier la représentation théorique considérée à des éléments plus vastes de signification (voir le paragraphe suivant). Le livre *L'Analyse critique des sciences* s'inscrit dans cette perspective [1990a] ; [1990h, 1992b].

Formalisme et contenus

Dans mes recherches antérieures en épistémologie, j'ai étudié les théories physiques et les problèmes qu'elles posent à la connaissance, surtout sous l'angle des contenus conceptuels (analyse de la signification physique des concepts et des principes, par exemple en mécanique quantique, ou de leur transformation lors du passage d'une théorie à une autre ou de l'évolution d'une même théorie). Cela me semble répondre à une nécessité propre à la physique, qui est une science de la nature, et qui se propose avant tout de donner une représentation (conceptuelle et symbolique) de phénomènes de la nature. Ce faisant, je rencontrai cependant un problème fondamental, celui du rapport entre les contenus (p. ex., le « contenu physique ») et le caractère formel de la représentation.

Ce rapport se manifeste en particulier dans la relation qui existe entre les mathématiques et la physique (par exemple dans la question de la prédictivité, ou du pouvoir heuristique d'un formalisme). Il se retrouve au niveau des concepts et des principes, et c'est sous cet angle que je l'avais surtout abordé jusqu'ici. Mais, en étudiant la signification (physique) des concepts, j'ai rencontré l'aspect systémique et formel de la théorie, en ce sens que la signification des concepts particuliers est indissociable de l'ensemble structuré des concepts et propositions en quoi consiste la théorie (c'est dans ce sens que j'avais analysé la signification

de la 'non-séparabilité locale' en physique quantique). Je me suis donc interrogé d'une manière plus générale sur le rapport entre la structure formelle d'une théorie et la signification de ses propositions imbriquées (que l'on appelle encore l''interprétation').

Après un premier travail dans ce sens, sur le lien entre la référence de la théorie et son aspect formel (« L'endoréférence d'une science formalisée de la nature », [1992c], voir plus bas), je désire explorer systématiquement divers aspects de la question du rapport entre la structure formelle et l'interprétation.

L'un des sujets qui me paraît parmi les plus importants est celui de la nature des principes théoriques et de leur lien à la formalisation, voire à l'axiomatisation : la mécanique quantique et sa comparaison, sous cet aspect, avec les autres types de théories physiques, représente ici un enjeu fascinant. Un autre sujet est celui des rapports du formalisme théorique et de la logique (mon intérêt y a été attiré grâce à Newton da Costa, professeur à l'Université de São Paulo), en ayant en vue que la physique, malgré sa formalisation mathématique poussée, n'est pas une science purement formelle et qu'elle a un contenu empirique. La ligne d'analyse que j'aimerais poursuivre dans cette direction s'inspire des réflexions de Poincaré, à propos des géométries non-euclidiennes, sur les rapports de la géométrie à l'expérience. On peut se demander, étant donné qu'il existe des logiques alternatives à la logique classique, si la connaissance de la nature privilégie cette dernière, qui serait alors en quelque sorte, la « logique naturelle », qui correspondrait d'ailleurs à une sorte d'a priori lié à la structure profonde de l'entendement. Ou encore, si des prédictions différentes obtenues en se basant sur l'une ou l'autre de ces logiques ne permettraient pas de choisir, à partir de phénomènes physiques, l'une d'elles, un peu comme la Relativité Générale amène à privilégier la géométrie riemanienne pour l'espace physique. Ou si, au contraire, toutes ces logiques son équivalentes, pouvant être traduites l'une dans l'autre, leur choix n'étant qu'une affaire de convention, et déterminé par les circonstances (origine pour notre pensée, habitude, commodité, etc.).

Rationalité et empirisme

L'examen des sciences dans la réalité effective de leurs procédures et de leurs résultats, et les divers thèmes soulevés conduisent à se poser à nouveaux frais la question « rationalisme ou empirisme », qui est d'ailleurs l'objet de débats actuels outre-atlantique, après avoir reçu longtemps la réponse unilatérale de l'empirisme logique. Rationalisme et empirisme reçoivent des acceptions modifiées par rapport aux débats traditionnels, l'un et l'autre se sont interpénétrés. On conclut néanmoins par le rationalisme, faisant appel à un « synthétique *a priori* », mais modifié par rapport à l'acception kantienne : un « synthétique *a priori* » construit et fonctionnel. [1988c, 1992c].

L'endoréférence d'une science formalisée de la nature

Dans l'article « *L'endoréférence d'une science formalisée de la nature* », j'examine les implications épistémologiques de l'idée selon laquelle, quand une théorie se trouve dans un stade de formalisation abstraite (comme, par exeemple, aujourd'hui, la physique quantique), la signification de ses concepts et

propositions, qui visent à la représentation et à l'intelligibilité du monde physique externe (la réalité physique, quelle qu'elle puisse être), doit cependant être prise dans la théorie elle-même. Ceci est à comprendre dans le sens de cette déclaration d'Einstein reprise par Heisenberg : « C'est la théorie elle-même qui dicte la signification physique de ses énoncés ». Notre tentative de traiter les problèmes liés à cet état de choses se heurte à la tension qui existe entre une telle nécessité (qui est aussi une question de fait, puisque la physique opère effectivement de cette façon) et la référence, en dernière instance, à la réalité physique exterieure. Mais nous ne disposons d'aucun accès direct à cette dernière, et nous ne pouvons penser l'atteindre que par la médiation de la théorie formalisée ainsi que, bien entendu, par l'expérience (mais celle-ci doit toujours être interprétée par la théorie même). Il nous faut alors trouver un substitut épistémologique de la notion de réalité physique (qui est, en un sens, métaphysique, puisque, à proprement parler, hors de portée), ce substitut étant directement relié à ce qu'est, dans la pratique intellectuelle scientifique effective, l'objet de la théorie physique, cette dernière étant considérée essentiellement sous son aspect structurel.

L'analyse de ce que l'on entend par « théorie formalisée » pour une science à contenu empirique, quand on se place du point de vue de l'intelligibilité et de la signification, en dépassant l'opposition entre le formel et l'empirique, mène à la conclusion qu'une telle théorie (qui fournit réellement l'intelligibilité) ne peut pas être réduite à un simple « formalisme interprété », et que sa nature systémique doit comprendre l'interprétation comme une partie constitutive de la structure. La théorie, pour une science de la nature comme la physique, est une construction *sui generis* (utilisant comme matériau de départ des éléments formels interprétés), dont la structure intègre de manière imbriquée (rendu par la notion de « concept physique ») le formel et l'interprétation. Cet état de choses a aussi à voir avec la nécessité de considérer l'aspect dynamique des théories, impliqué dès qu'il est question d'interprétation et de contenu. Cet aspect dynamique ne peut pas être séparé des caractéristiques structurelles, et concerne le problème de la comparaison, de l'« incommensurabilité » et du progrès. Or c'est lui qui laisse voir pour ainsi dire la trace de l'objet vers lequel la théorie est tendue, l'objet qu'elle vise. Cet objet visé diffère de l'objet « logique » de la structure, bien que ce dernier, donné par la théorie en son état considéré, peut être pris, dans cet état, comme la référence pour les interprétations. On peut dès lors aborder le statut de ce qu'il est possible, dans cette optique, d'appeler « endoréférence ». Il s'agit d'une sorte de « synthétique *a priori* », différent du sens kantien, car temporaire et modifiable, mais qui garderait la fonction de celui-ci pour la compréhension, tout en portant en même temps la dimension historique de la connaissance scientifique (évolution des théories et des concepts). L'exposé de ce travail est organisé comme suit : 1. Introduction. - 2. Théorie formalisée et science de la nature.- 3. Intelligibilité et signification. - 4. Analyse et interprétation des propositions théoriques. - 5. La visée et le système.- 6. Un « synthétique *a priori* » construit et fonctionnel. ([1992c]).

La théorie et son objet.

Le thème du rapport de la théorie et de son objet apparaît en filigrane à

travers la plupart de mes analyses épistémologiques sur les concepts et leur signification. Or il apparaît constituer un thème à lui seul : quelle est la relation logique et épistémologique entre les deux? J'ai essayé de mettre ce thème en évidence, du point de vue historique par des analyses comparatives d'oeuvres de chercheurs à la même époque (p. ex., en Relativité), et du point de vue philosophique et logique en examinant la structure des propositions théoriques et la signification de ces dernières. Par ailleurs, un thème directement relié au couple théorie-objet est celui de la complétude théorique, qui a fait son apparition en physique, différemment de son contexte d'origine dans les questions de fondements des mathématiques, mais d'une manière suffisamment marquée pour qu'on soit tenté d'ériger désormais la notion de complétude au rang de concept épistémologique. (Chapitres du livre *L'analyse critique des sciences*, 1990a; 1988f, 1992c).

Rapports entre construction théorique et réalité objective.

Ce thème est développé dans plusieurs études, soit à partir de l'étude de la signification de concepts physiques (en particulier dans le domaine quantique), soit à partir d'interrogations sur le cadre théorique et conceptuel d'une science donnée, ou encore à partir de l'examen des rapports de la théorie et de l'expérience. La question de savoir s'il existe un quelconque rapport entre l'objet d'une science donnée (p. ex. la physique) et une réalité extérieure à toute pensée que cette science prétendrait décrire, qui court tout au long de l'histoire des idées et des rapports entre science et philosophie, est examinée à nouveaux frais à partir de l'exemple de la physique contemporaine.

Le point de départ est double : c'est, d'une part, la constatation que les représentation scientifiques sont des systèmes symboliques ; et, d'autre part, l'existence de la science, dans ses propositions, dans ses procédures, dans son développement. L'existence même de cette forme de connaissance, 'objective', atteste que la question de la réalité extérieure ne peut en aucun cas être éliminée des considérations sur sa nature, en dépit de son caractère symbolique et construit. Or, elle l'a été souvent par les philosophes, sous le prétexte qu'elle ne saurait être que d'ordre métaphysique, et donc étrangère au domaine de la science. Même quand ils ne la nient pas, les philosophes (p. ex., Popper) s'en tiennent en général à considérer qu'il s'agit là d'une dimension métaphysique des sciences, et leurs analyses des propositions de ces dernières se contentent d'en prendre acte, sans parvenir à une clarification épistémologique vraiment rigoureuse et satisfaisante des questions qui lui sont reliées et qui font problème (par exemple : l'inséparabilité et la mesure en mécanique quantique, le statut des probabilités en physique, etc.).

Je m'efforce, dans la direction de recherche que j'ai choisie, tout en préservant (contre l'empirisme logique et la philosophie analytique) la dimension métaphysique de l'activité scientifique, de maintenir cette dernière dans l'arrière-plan de l'analyse rigoureuse des propositions comme de l'évolution des connaissances scientifiques. Il s'agit d'effectuer une distinction méthodologique entre l'épistémologie et la métaphysique, distinction nécessaire si l'on veut garder le contrôle de l'analyse épistémologique des propositions de la science et de leur

signification. J'ai développé, dans cette perspective, l'analyse de la "référence" des propositions et théories scientifiques qui confère à ces dernières une autonomie, sans pour autant les couper de ce à quoi elles visent, dans une conception réaliste, c'est-à-dire la réalité extérieure à la pensée. Pour cela, on doit tenir ensemble l'exigence d'une évaluation "interne" des propositions, dans le système organique qu'elles constituent à un moment donné, et celle de rester attentif à l'aspect historique qui voit la transformation de ces systèmes. (1980e; 1985l, 1986d; 1988a,c et d, 1992c et d, 1993f, etc.).

Formalisme et interprétation

Ce thème court également à travers toutes les questions reliées à la signification des concepts. Il apparaît, par exemple, lorsqu'on s'efforce de voir ce qui s'est modifié dans l'‘objet’ dont on a parlé, de telle sorte qu'une théorie se présente qui ne parle pour ainsi dire pas de la même chose que celles qui la précédaient. Le cas est patent au moment où s'affirme la théorie de la Relativité restreinte (voir article et livre en préparation). Mais l'interprétation a, de toute façon, partie partie liée à la signification de la théorie; quelle est l'instance qui donne cette dernière ?

On aperçoit, certes, plusieurs niveaux d'interprétation : niveaux plus « extérieurs », qui rattachent la signification à une compréhension d'ordre philosophique, niveaux plus ‘internes’ qui s'en tiennent à la signification purement scientifique (physique, dans les cas étudiés). Les deux sont-ils discernables? Et si oui, quel est leur lien ? A mon sens, ils sont effectivements distincts mais ils ont un lien. L'interprétation ‘interne’ est directement liée à la signification du formalisme lui-même et nous renvoie à la nature de la mathématisation, dans le cas de la physique. On voit bien ici la spécificité de cette dernière science, et l'on ne s'autorisera pas de généralisation à d'autres sans avoir fait exactement le tour des caractères particuliers qui assurent la légitimité des conclusions obtenues à son sujet. ([1993a], etc.)

L'élargissement des formes de la rationalité

Dans l'exposé intitulé *« Réflexions sur la philosophie de l'espace selon Gilles-G. Granger, et sur la physique contemporaine. En quel sens la pensée physique peut-elle dépasser le concept d'espace ? »*, je rappelle tout d'abord les idées directrices de Gilles-Gaston Granger sur *La pensée de l'espace*, qui servent de point de départ aux réflexions proposées : retenons, en particulier, le mouvement par lequel les notions géométriques intuitives sont « déspatialisées » par des constructions de formes abstraites opératoires, pouvant être ensuite conçues synthétiquement comme de nouveaux objets permettant de représenter l'espace d'une manière plus intelligible. Je m'attache ensuite à montrer que les conceptions qui accompagnent le développement des constructions mathématiques, par exemple les diverses sortes de géométries, constituent comme un élargissement des formes de la rationalité, dont l'esthétique transcendantale kantienne peut être considérée comme un état initial. Cet élargissement correspond à une structuration dynamique des éléments de rationalité qui permettent des synthèses constructives ultérieures. Je montre ensuite qu'il en va

de même avec les constructions de la physique, pour l'espace (et le temps), comme pour les grandeurs physiques en général, par lesquelles on exprime les propriétés des objets et des phénomènes physiques. Par exemple, divers problèmes actuels des sciences de la nature, comme les sytèmes dynamiques, la cosmologie et la gravitation quantique, semblent indiquer une importance accrue des approches topologiques sur les aproches métriques. Mais, plus radicalement peut-être, si la théorie de la relativité a montré l'indissociabilité de l'espace, du temps et de la matière, la théorie quantique nous invite à poser d'une manière encore différente la pensée des grandeurs par rapport à l'espace. Elle nous amène à nous demander si la pensée physique peut dépasser le concept d'espace, et à préciser dans quel sens il est possible de le concevoir. Par tous ces aspects, y compris le dernier, la pensée de l'espace s'enrichit de l'expérience du monde physique, lequel pénètre, pour ainsi dire, à l'intérieur même des structures de la rationalité, qui s'en nourrissent selon leurs modalités propres, c'est-à-dire sans se dissoudre dans l'empirique. Par cet élargissement de la rationalité, les connaissances nouvelles deviennent possibles. (Exposé invité à la *Journée « La pensée de l'espace selon Gilles-Gaston Granger »*, Département de Philosophie, Université de Provence Aix-Marseille-1, Aix-en-Provence, 7 avril 2000). (Paty [à paraître, r]).

Ce mouvement des formes de la rationalité, liée à la question de l'intelligibilité, est en fait aussi à l'horizon de la question des fondements des sciences, et notamment des sciences formelles ou formalisées, mais aussi de toutes les sciences, même celles réputées empiriques, puisqu'elles impliquent raisonnement. Dans ce sens, la voie avait été ouverte par Jean Cavaillès, avec son exigence de « philosophie du concept », et balisée ensuite notamment par les travaux de Jules Vuillemin et de Gilles G. Granger. Les élargissements de la rationalité, ou de ses formes, dont je viens de parler, me paraissent constituer une *condition de possibilité de la constitution et des changements des connaissances scientifiques*, et les sciences formalisées comme les mathématiques ou la physique théorique sont particulièrement appropriées à leur étude. Je les retrouve aussi, avec la question de la rationalité en général, à partir d'autres thèmes, tant ceux qui ont trait aux concepts et grandeurs physiques et à la mathématisation (I, J, K), que ceux qui font appel à l'histoire culturelle et sociale, où l'on peut mettre en évidence la diversité des formes du rationnel et la possibilité de leur communication (voir plus loin, N, O). Sous tous ces aspects, le rationnel comme fonction et processus garde toute sa consistance, et ses élargissements se font par assimilation « organique » ou structurelles (par transformations internes) de données provenant de l'extérieur. Cette direction de mes recherches, liée de manière évidente au thème de la création scientifique dont il est question plus loin (M), est désormais celle que je privilégie dans mon travail.

Dans des *« Remarques sur une science générale du raisonnement »*, je montre comment la question des fondements des mathématiques déborde nécessairement la seule préoccupation logique pour se poser en termes de rationalité. ([2003f]). Dans un autre travail intitulé *« Des fondements vers l'avant. Sur la rationalité des mathématiques et des sciences formalisées »*, je développe l'argumentation suivante. L'insuffisance du logicisme pour la question des

fondements des mathématiques nous invite à la poser sous un point de vue *épistémologique*, en termes de *rationalité* et non plus seulement de *logique*, et à l'étendre aux sciences formalisées portant sur la nature, comme la physique, voire à la pensée scientifique en général. On doit tenir compte, dans tous les cas, des changements qui correspondent à des constructions conceptuelles : ce sont eux qui assurent en même temps, après coup, le bien-fondé des théories qui les ont préparés, en sorte que si des fondements rationnels peuvent être obtenus, ce n'est, en règle générale, que « vers l'avant ». Ces changements posent également la question de leurs conditions de possibilités. La conclusion est qu'il faut admettre, pour que ces changements, et avec eux un accroissement de la connaissance, soient possibles, des transformations corrélatives dans les formes mêmes de la rationalité, mathématique, physique et, d'une manière générale, de la rationalité scientifique. ([à paraître, h]).

L'article « *Nouveauté et émergence dans la quête des fondements* », fait valoir que la recherche de fondements assurés pour une connaissance, notamment quand elle est formalisée, peut être vue comme un cas particulier de la recherche d'une plus grande intelligibilité. Elle aboutit en général à modifier des éléments structurels de la connaissance admise (ce qui touche aux questions de relativité ontologique et de holisme épistémologique), faisant apparaître des éléments nouveaux de pensée et de « réalité », des structures conceptuelles émergentes sur le terrain des précédentes. On se propose de mettre en évidence le lien entre l'émergence de nouvelles connaissances impensables auparavant, qui élargissent le champ de la connaissance possible, et le mouvement effectif « vers l'avant » de la recherche de fondements. ([en préparation, b]).

« Les mathématiques et le langage de la raison » constitue un thème qui prolonge mes recherches sur l'intelligibilité et la rationalité et que j'aimerais développer par des études de cas. Dans le travail intitulé *« Rationalités comparées des contenus mathématiques »*, je rappelle comment, d'une manière générale, le champ des mathématiques considérées dans leur développement historique est fertile en problèmes épistémologiques et philosophiques. Je m'attache alors à partir de l'évocation des recherches de Roshdi Rashed sur l'histoire des mathématiques arabes, qui explicitent nombre de ces problèmes, exemplifiés et précisés par le travail d'exhumation des textes et de leur compréhension historique, à tenter de caractériser, outre les thèmes philosophiques rencontrés dans ce champ, les types de problèmes posés et de solutions proposées par les savants concernés. Ces problèmes et leurs solutions permettent de dessiner les figures de la rationalité mathématique, en arithmétique, algèbre, géométrie et optique, ainsi qu'en astronomie, aux époques considérées. La formulation de ces problèmes pose naturellement la question des changements et des innovations, et de leur rapport aux conceptions et traditions antérieures, et apporte ainsi des éléments à une approche philosophique de la découverte, de l'invention scientifique (ici, mathématique) et des modifications de la rationalité qui la rendent possible, à partir des œuvres. ([à paraître,y])

Epistémologie formelle.

Sous le titre *« Opérations épistémiques et épistémologie formelle*

(Contribution à l'étude des opérations épistémiques dans les théories scientifiques) », j'ai tenté de cerner les diverses dimensions et les problèmes constitutifs de ce que serait une recherche désignée comme « épistémologie formelle » ou « formalisée ». L'intérêt de ces questions est lié à la possibilité ou non d'un point de vue ou axe de recherche privilégié (celui du « formel »), qui donnerait sur les faits et les problèmes auxquels l'épistémologie précise (« régionale ») des théories (par exemple, physiques) se confronte, une *perspective* capable d'en embrasser la richesse et la diversité, tout en saisissant les grands traits structurels qui les organisent selon quelque *intelligibilité d'ensemble*, plus unifiante et synthétique. Un tel point de vue permettrait peut-être de mieux maîtriser les changements requis dans l'organisation des connaissances, d'en souligner les directions principales, d'en dresser l'inventaire raisonné, voire d'en anticiper d'autres. J'aborde en premier lieu la « pensée des changements » que le souci pour la forme ne peut omettre, la signification des formes étant inséparable des contenus, objets de *constructions* et de *modifications*. J'examine ensuite la notion d'« opération épistémique » comme instrument de création de formes nouvelles, aux niveaux théorique et méta-théorique. L'analyse s'attache ensuite aux caractères de la *forme* et du *formel* et à leur rapport aux *contenus* de connaissance, ainsi qu'à la notion d'*objet* avec ce qu'elle doit à la décision d'un *sujet* et aux choix de *convention*. Cette réflexion se conclut sur une interrogation relativement au rapport entre les « opérations épistémiques » ainsi précisées et une *fonction algorithmique* pour des énoncés de connaissance, en soulignant le risque réductionniste d'une conception naturaliste de la représentation. Ce travail a été suscité dans le cadre du séminaire du CeSef (voir II, 7) (Paty [1999j, 2002o]).

Addition, janvier 2008.
De la causalité à la nécessité. Science et immanence
(voir aussi, plus haut –II.3.9, thème K-, sur la causalité et sur le déterminisme).

J'ai poursuivi l'examen des notions de causalité et de déterminisme, aboutissant à mettre en valeur, comme sous-jacentes à celles-ci, mais moins limitative (quoique posant des problèmes spécifiques) la notion de « nécessité », complétant ainsi une « trilogie » : Genèse de la causalité physique [2004d] (Trad. en portug. : [2004e] ; Le déterminisme en physique et ses limites (publié en 2003, et trad. en port. : [2004h]) ; Matière et nécessité dans la connaissance scientifique [2004i] (Trad. en portug. : [2006h]).

La question de la « nécessité » est précisée de la manière suivante. La connaissance scientifique est sou-tendue par l'idée de *nécessité*, plus vaste, moins limitée, mais aussi moins maniable que celles de causalité et de déterminisme. Il faut en effet tenir compte de la difficulté de l'invoquer comme principe pour une connaissance, de nature symbolique et construite, qui ne dispose que d'un accès indirect à la réalité du monde. La thèse ici argumentée est que, même en accordant toute sa place au sujet, le mouvement de la science ne prend son sens que de l'immanence, et que son moteur est la nécessité. Les sciences contemporaines, en particulier la physique, paraissent bien conforter cette vue, avec leurs évaluations des limitations inhérentes aux systèmes théoriques de concepts, avec le dépassement et la réorganisation de ces derniers (voir

notamment le rôle des principes d'invariance et de symétrie, ou encore la signification du critère de « complétude théorique relative »). Les savoirs scientifiques ont eux-mêmes une dimension temporelle et évolutive : ils s'éprouvent dans le temps de l'histoire en s'accompagnant d'une modification corrélative des structures de l'intelligibilité, dans le sens d'une adaptation des conditions de possibilité de la connaissance au monde immanent. La part contingente des connaissances scientifiques comme formes symboliques apparaît en fin de compte dirigée souterrainement par la nécessité de la matière-monde.

(Fin de l'addition de janvier 2008).

II.3.11 (M) PHILOSOPHIE DE LA CREATION SCIENTIFIQUE

Ma préoccupation pour une philosophie de la création scientifique remonte à mes premiers essais sur la caractérisation de ce qui fait l'individuation du travail du scientifique , en même temps orienté vers la recherche d'une objectivité. Elle rejoint directement le thème précédent sur les fondements de l'activité rationnelle.

Mes premières réflexions liées à ce thème portaient sur « *La notion de programme épistémologique* » et sur l'« *Epistémologie des crises en physique* ». S'il y a une crise de la connaissance scientifique, elle réside, beaucoup plus profondément que dans une prétendue crise du déterminisme, dans la conscience de ce que la science, dans son travail de construction représentative, ne dispose plus de guide inné ou « naturel ». Le questionnement critique atteint toutes les références traditionnelles de la pensée scientifique. Face à l'absence d'aucun critère décisif de démarcation, il est intéressant de considérer la notion de *programme épistémologique* comme susceptible d'éclairer la démarche et la procédure scientifique dans la diversité de ses dimensions. On décrit la typologie de tels programmes, et on indique un choix possible qui semble, mieux que les autres, rendre compte de la réalité de la connaissance scientifique comme activité intellectuelle, en proposant l'exigence, pour une théorie, de définir son objet, et d'établir en elle-même sa référence, réduisant ainsi au maximum les interventions ou interprétations externes. Ce programme épistémologique est celui du réalisme rationnel et critique. ([1982j]). Quant à l'« *Epistémologie des crises en physique* », j'y examine les questions suivantes : Y a-t-il vraiment crises des représentations scientifiques ? Si oui, qu'est-ce qui les caractérise? Ces problèmes touchent à celui de la comparaison des théories, de leur évolution et du progrès des théories. ([1988d]). J'ai tenté, dans un essai sur « *La nouveauté et sa référence* », de situer le problème de la « nouveauté » en sciences. A quoi doit-on référer ce qui est « nouveau » ? Aux systèmes de signification antérieurs ? ou au système de propositions mis en place à la faveur de l'apparition de ce « nouveau » lui-même ? On touche par là aux questions de l'interprétation, qui se rattachent à de nombreux aspects des thèmes abordés dans la suite. ([1988c]).

Une critique de la « conception reçue » d'une séparation et d'une opposition radicale entre *la découverte et la justification* et qui considère que, seule, la seconde, par la « reconstruction rationnelle », possède un intérêt philosphique, constitue un préalable nécessaire à tout projet d'élaborer une « philosophie de la

création scientifique ». Il est possible de montrer qu'au contraire le travail scientifique comporte une part éminemment rationnelle, que l'on peut saisir tout en respectant pleinement l'historicité et la complexité des circonstances effectives. Plusieurs de mes recherches correspondent à une « philosophie de la découverte », où j'utilise l'analyse comparative, pour mettre notamment en évidence les caractéristiques de « style » (p. ex. *Einstein philosophe*, 1993a, chap. 2). Une autre distinction est préférable, plus justifiée et correspondant aux données historiques, et épistémologiquement féconde, celle entre « découverte » et « réception », qui se rattachent respectivement aux questions des « styles » et des « traditions ». ([1989f, 1990a, 1992b]).

Philosophie de la découverte et de la création scientifique.

J'ai abordé de manière systématique le thème de la nouveauté, de la découverte et de l'invention scientifiques, de la *création scientifique* à proprement parler, sous un angle épistémologique et philosophique, et non pas psychologique ou social comme c'était généralement la règle avec la ligne qui va du Cercle de Vienne à l'épistémologie poppérienne. Le thème est inévitablement rencontré dans les études de cas de l'histoire des sciences, comme aussi bien dans la comparaison d'états différents de connaissances, avec la « nouveauté » qui apparaît dans l'invention et la découverte scientifique, avec son identification, sa réception et son assimilation, les transformations des connaissances qu'elle implique. Il convient donc de l'étudier en tant que tel, du point de vue de l'épistémologie rationnelle, au lieu de n'en faire qu'un simple fruit de la contingence et de l'irrationnel.

Le thème de la découverte et de la création scientifique se rattache à d'autres aspects plus classiques en épistémologie et en philosophie de la connaissance, comme la notion de style scientifique, celle de programme épistémologique, la question de l'intelligibilité, ou encore le problème de l'induction, et celui de l'intuition. Or, précisément, son approche rationnelle directe est *a priori* découragée par des difficultés comme celle à traiter philosophiquement d'une notion comme l'« intuition », aussi nécessaire à la réflexion sur la pensée (elle est invoquée à toute époque et dans tous les domaines par les savants, les artistes et les philosophes) qu'elle est mal définie et diversement envisagée.

Dans un premier temps, j'ai abordé le sujet en soulevant des problèmes épistémologiques et philosophiques tels que le rapport de la découverte à la rationalité, le rôle qu'y joue l'intuition (et la caractérisation de cette dernière), le statut de la nouveauté, entre une connaissance donnée et des réorganisations ultérieures, la diversité d'approches d'un même objet, ou d'un même problème (styles) ; le rôle et la signification (et les changements de signification) des faits d'expérience dans l'élaboration théorique ; les modification de l'objet de la représentation (ou de la recherche) et son identification, et leurs liens aux problèmes de la réception. Une étude de cas où ces questions se manifestent clairement est l'élaboration par Enstein de la théorie de la relativité restreinte ([1996e]). Elle est prolongée par un travail sur « La découverte scientifique entre l'histoire et la philosophie », présenté au *Séminaire d'Epistémologie comparative* de l'Université d'Aix-en-Provence-Marseille, le 29 avril 1997, et dont la rédaction

est restée encore inachevée (en prép.). Un autre travail, également toujours en cours de rédaction, présenté à un séminaire du centre A. Koyré en 1995, aborde le problème de la découverte comme consciente ou comme non dite (et non explicitée ccomme telle) dans l'oeuvre scientifique d'un créateur comme d'Alembert : « Préfaces, découverte et signification dans les Traités scientifiques de d'Alembert » ([à paraître]).

Puis j'ai abordé explicitement le thème de la *création* scientifique en tant que telle.

Dans « *La création scientifique selon Poincaré et Einstein* », j'ai abordé ce thème tel que ces deux « savants-philosophes » l'ont considéré dans leurs épistémologies, et tel qu'ils l'ont eux-mêmes vécu dans leurs recherches. Poincaré et Einstein fondent leur conception de la découverte et de l'invention scientifique comme un processus créateur sur le « libre choix » des concepts et des idées théoriques par la pensée. Cette « liberté logique » par rapport aux données factuelles s'établit sur la critique humienne de l'induction, sur le refus de l'empirisme pur et sur une conception de l'intelligibilité rationnelle tributaire de Kant, en même temps que sur la critique de l'apriorisme kantien. Soulignant la proximité de leurs convictions à cet égard, malgré des conceptions philosophiques différentes sous d'autres aspects (conventionalisme de Poincaré, réalisme critique d'Einstein), on examine comment ce trait central des épistémologies des deux savants-philosophes se situe par rapport à d'autres penseurs, du passé comme de leur époque, et comment il a été rendu possible par l'évolution des mathématiques et de la physique dans la période immédiatement antérieure. On tente de le mettre en relation avec les processus de l'invention scientifique tels qu'ils en ont fait eux-mêmes l'expérience dans leurs innovations créatrices. ([1999i, 2001c, k]).

J'ai esquissé une première approche de la question des rapports entre l'esthétique et l'intelligible, et entre la création artistique et la création scientifique. Dans « *Créer, représenter, comprendre. Création artistique et création scientifique* », j'explore l'idée que les objets de science, comme ceux de l'art, n'existent pas à l'état naturel : ils sont ajoutés aux objets de la nature par l'activité créatrice de l'homme. Créer, représenter, comprendre, caractérisent également ces deux activités par ailleurs différentes dans l'intention, dans les modalites et dans les effets, que sont l'art et la science. Et c'est ce qui les rapproche étrangement. ([2001r]).

Dans « *Esthétique ou épistémologie ? L'invocation de l'harmonie dans les ressorts de l'invention scientifique* », je développe l'argument suivant. Des savants (par exemple, Poincaré, ou Einstein, de nombreux autres encore) ont souvent proposé des parallèles ou des convergences entre l'activité créatrice en science et en art. Pour eux, qui en ont vécu l'expérience, la pensée scientifique est créatrice de formes et de sens. D'autre part, par-delà ce premier aspect de la question du rapport entre la science et l'art comme créations par la pensée, se pose la question de la spécificité de ces formes et de ces significations, et des modes d'activité mentale qui y correspondent. On peut inventorier à cet égard les similitudes et les différences de l'œuvre d'art et de l'œuvre de science comme créations de l'esprit humain, en particulier en rapport au modèle ou à la nature, ainsi qu'à

l'intériorisation. Les scientifiques ont eux-mêmes fréquemment invoqué l'harmonie, ou la beauté, ou la simplicité, comme ressorts de l'invention scientifique. On a voulu y voir le plus souvent une motivation ou un critère psychologique. Mais cela laisse entier le problème de la rationalié des contenus et des formes de connaissance scentifique ainsi portées au jour. J'examine ce que ces thèmes esthétiques recouvrent comme exigences du point de vue épistémologique, en prenant appui sur des cas précis d'invention scientifique. ([A paraître, p]).

Dans « *La création scientifique entre l'individu, le monde et la cité savante* », on pose que la science, comme type de pensée et comme construction en permanente élaboration, repose sur des actes de création individuelle dont un point de départ est une exigence d'intelligibilité à propos d'un état de connaissance acquise. Un tel acte, produit par une subjectivité, porte sur des objets ou des relations, qui sont décrits par des propositions de caractère universel. Les éléments régulateurs du rapport entre le subjectif et l'universel concernent le rationnel (ses formes et ses modalités), le monde extérieur (dont l'existence est supposée), et la communauté des subjectivités (qui pourront, à leur tour, concevoir la nouvelle connaissance proposée : la « cité savante », mais non détachée d'une référence au sens commun, en vue de l'universel). Ces considérations, mises en place et discutées dans l'exposé, appartiennent à une « philosophie de la création scientifique », projet dont il s'agit d'établir la légitimité. ([En préparation,b]).

Addition (janvier 2008),

II.3.11-A (MA). PENSEE SYMBOLIQUE, CREATION SCIENTIFIQUE, FONCTION DE RATIONALITE.

C'est le thème actuellement dominant de mes recherches. Outre des publications (et trois ouvrages en préparation), il a constitué la matière de mon enseignement en 2004-2007 à l'Université de São Paulo. Certains thèmes généraux ont été repris en exposés et conférences à des séminaires et des colloques, ou en articles. Je l'ai abordé en premier lieu à partir du problème de la création scientifique (la connaissance scientifique considérée comme activité créatrice) tel qu'on peut le caractériser philosophiquement (comment la création scientifique est-elle possible ?). L'étude de ces conditions de possibilité m'a amené à examiner la diversité des formes de rationalité, suivant les disciplines et les époques, et leur variabilité. Une amplification de la rationalité s'avère nécessaire pour qu'il soit possible de penser l'auparavant impensable, c'est-à-dire le « nouveau ». De là j'ai été amené à caractériser le rationnel, non comme essence, mais par sa fonction de mise en rapport pour comprendre, c'est-à-dire en vue de l'intelligibilité. Je suis donc parti de l'épistémologie et de la philosophie des sciences avec l'ensemble de textes qui constituent *La Raison créatrice et le problème des fondements de la connaissance*, pour en arriver à une approche philosophico-anthropologique (dont je poursuis l'investigation) de la *Fonction de rationalité* et de sa genèse. Mais la fonction de rationalité implique (notamment, sous l'angle du rapport objet-sujet), sa mise en condition avec d'autres

dispositions de la pensée, ainsi qu'avec les liens intersubjectifs et sociaux (ce qui requiert une approche interdisciplinaire avec l'aide de plusieurs sciences humaines, histoire, sociologie, anthropologie, psychologie et sciences cognitives). Il ne sera possible ici que d'en esquisser certains éléments et directions. Les deux développements s'éclairent de manière plus fondamentale si on les place dans la perspective réflexive de la pensée symbolique. Ainsi, dans son organisation actuelle, cette recherche se présente en trois parties : 1. *La Connaissance scientifique comme pensée symbolique. - 2. Création scientifique et rationalité.* - 3. *La Fonction de rationalité : genèse, diversité et unité.*

1. La connaissance scientifique comme pensée symbolique. (Cours-Séminaire, USP, 2007).

Pourquoi s'attacher au caractère symbolique de la connaissance scientifique ? Sans doute implicite dans bien des approches philosophiques et historiques modernes et contemporaines sur la science, ce caractère est rarement mis en avant d'une manière fondamentale. Les philosophes contemporains ont souvent préféré soit ramener la question de la science à celle du langage, soit la rapporter directement à l'observation et à l'expérience, dans une approche pragmatiste et empiriste, renvoyant le réalisme et le rationalisme respectivement à un matérialisme et à un idéalisme « dépassés ». Cependant, le point de vue de la pensée humaine comme forme symbolique paraît bien offrir une perspective philosophique plus ample et mieux fondée, susceptible de tenir ensemble des aspects de la connaissance traditionnellement séparés, voire opposés, tout en opérant les distinctions nécessaires, et en maintenant les spécificités et en les analysant. Comme exemples de telles distinctions ou oppositions, mentionnons : la science et le mythe ou l'idéologie, la raison et les affects, le sujet et l'objet (plus précisément, le rôle du sujet et les caractères de l'objectivité), ou encore la rationalité et l'historicité….

Dans la perspective proposée, l'ouvrage d'Ernst Cassirer, *La Philosophie des formes symboliques*, approche phénoménologique et anthropologique du langage, de la pensée mythique et de la connaissance scientifique, joue un rôle privilégié d'incitation, notamment sur la continuité et les discontinuités entre ces diverses formes symboliques.

Le point de vue de la connaissance scientifique comme pensée symbolique permet la formulation plus assurée et précise de certaines questions traditionnelles comme le statut de la scientificité, la possibilité de parler de progrès de la connaissance, la nature et le rôle des concepts et la référence des théories, la structure systémique et les changements, la continuité ou les ruptures…. Il entraîne l'élimination de faux problèmes philosophiques (tels que l'« anti-réalisme » comme solution aux difficultés du « réalisme ontologique »). Il pose d'une manière effective la question de l'immanence de l'objet de la connaissance, et celle de la rationalité en tant que fonction de la pensée, tout en incitant à les inscrire dans une vue évolutive et historique. Il permet d'éclairer sous un nouveau jour des problèmes qui paraissaient sans solution comme celui de l'« intuition » (en fait, l'intuition intellectuelle, que nous caractériserons), rend possibles et

légitimes de nouvelles questions sur des faits de connaissance traditionnellement ignorées ou rejetées en dehors du domaine de la philosophie, telles que l'invention et la création en sciences, en favorisant l'étude de leurs conditions de possibilité, et notamment leur rapport à la fonction de rationalité.

Sous diverses modalités, les valeurs, qui sont généralement considérées séparément de la connaissance objective et scientifique, sont en fait présentes à l'une ou l'autre des étapes de son élaboration et de sa « réflexion », notamment à travers les dimensions du sujet de la connaissance, le rôle de la liberté, les jugements « de vérité » et les choix de signification. Il importe au moins de situer ces problèmes sans quitter le cadre de la connaissance objective, qui est celui que nous avons adopté d'entrée.

On considère successivement les thèmes suivants : *1. Un choix de point de vue (la connaissance scientifique comme formes symboliques). - 2. Nature, possibilité et modalités de la connaissance : La raison, les sens, l'abstraction, les symboles. Quelques éléments d'histoire de la philosophie*, pour tenter de situer la prise de conscience du caractère symbolique de la connaissance. - *3. Le symbolique et le rationnel* (Les moyens de l'entendement pour rendre compte du sensible (Forme symbolique et fonction de la pensée ; langage et science ; logique et rationalité ; le rationnel, fonction de mise en relation des éléments de la pensée ; systèmes de concepts et structuration des connaissances). - *4. Sujet transcendantal et connaissance objective. Une tension dynamique*. (La pensée scientifique comme travail ; la notion de style scientifique ; l'objectivité par les concepts ; l'élément rationnel comme (synthétique) « a-priori fonctionnel » ; l'intersubjectivité et la dimension sociale) ; dynamique de la connaissance scientifique (la tension entre le rôle du sujet et l'exigence d'objectivité comme moteur des transformations des connaissances). *5. L'intelligibilité comme appropriation rationnelle. Invention de formes et créativité scientifique* (Catégories et principes de la connaissance ; la construction des concepts ; rapport entre la dimension rationnelle et les autres propriétés ou fonctions de la pensée ; le rôle de la volonté ; aspects de l'« intuition intellectuelle » comme perception synthétique par l'entendement). - *6. Historicité : La connaissance scientifique comme un fait d'histoire* (Signification des connaissances et leurs transformations ; les savoirs scientifiques et les cultures ; nouvelles questions de style : réflexivité de la connaissance (styles scientifiques et styles en histoire des sciences). - *7. Le rapport au monde*. (Caractère indirect mais effectif de la prise de la pensée sur le monde (production de phénomènes, interventions dans l'ordre des choses) ; critique de l'empirisme et de la « naturalisation » des connaissances ; théories, expériences, modèles ; l'endoréférence des sciences formalisées ; signification et portée de l'idée d'évolution (de la vie et du cosmos) : l'inscription de l'histoire humaine et de la pensée ; nouveau regard sur le thème classique « contingence et nécessité »).. - *8. La place des valeurs dans la connaissance* (Essai de situation des valeurs - morales, éthiques, esthétiques…- par rapport à la connaissance objective : malgré leur différence radicale de statut comme contenus - les premières ne sont pas inscrites dans la nature mais seulement données dans l'histoire, et relèvent du libre choix -, elles entretiennent

un lien effectif par les significations et par la place du sujet et du social dans la formation, la pensée et la mise en œuvre des connaissances).

2. Création scientifique et rationalité. La raison créatrice et le problème des fondements de la connaissance (Cours à l'USP, 2004 et 2005). (Voir aussi 2.3.11. Thème M).

La création scientifique peut-elle être un sujet d'interrogation philosophique ? ou encore : quels sont les rapports entre la création scientifique et la rationalité ? Je me propose de poser la question d'une philosophie de la création scientifique, de sa légitimité, et d'inventorier quelques uns des problèmes principaux qu'elle doit considérer ; et tout d'abord celui de la possibilité même d'une telle philosophie. Dans l'histoire des idées, le terme « création scientifique », d'utilisation seulement récente, serait apparu contradictoire. Mais son emploi de nos jours ne va pas sans ambiguités, comme on peut le voir au renvoi fréquent de l'idée de création à la pure subjectivité et de celle de découverte à la contingence ou à l'irrationnel. Et cependant, comment la connaissance scientifique pourrait-elle relever du rationnel si elle n'était qu'une succession de sauts irrationnels d' un état identifié (ou «reconstruit») comme rationnel à un autre ? Quel pourrait être alors le statut de la science, et celui, corrélatif, de la rationalité ?

Le thème de la création scientifique mérite d'être abordé d'un point de vue proprement épistémologique et philosophique, et non pas psychologique ou social comme c'était généralement la règle, notamment avec la ligne qui va du Cercle de Vienne à la philosophie analytique et à l'épistémologie poppérienne. Il inclut celui, plus traditionnel, de la découverte, qui comprend lui-même un objet (découvert) et un chemin « subjectif » de la pensée pour y parvenir. Les études de cas de l'histoire des sciences montrent des faits de découverte dûment constatés, rapportés à des œuvres, fruit de travaux individuels et contextuellement situés : il s'agit de les interroger dans leur rapport à la rationalité. Sous l'angle des « objets » découverts (exprimés en propositions portant sur des contenus), se pose en particulier la question de la *nouveauté* proprement dite, entre une connaissance donnée (précédente) et des réorganisations ultérieures, et de son statut épistémologique: celui-ci concerne son identification (cela qui est «nouveau»), sa réception, son assimilation, avec les transformations des connaissances que cette nouveauté implique. Sous l'angle des chemins de subjectívité, l'interrogation porte sur la nature du travail de la pensée, sur la diversité d'approches d'un même objet, ou d'un même problème par des chercheurs différents, sur leurs styles et programmes épistémologiques respectifs ; sur le rôle que joue l'intuition (sous condition d'expliciter cette dernière). C'est, en fin de compte, la question philosophique fondamentale de la nature du *rationnel*, et de la rationalité, et de leurs formes dans la pensée vivante et dans ses expressions, qui se trouve posée. Comment 1'« invention rationnelle » est-elle possible, comment des formes rationnelles nouvelles peuvent-elles être posées ? Où serait-il possible de trouver un fondement des connaissances rationnelles? Une esquisse de réponse est proposée avec les notions d'« élargissement des formes de rationalité » et de « fondements des connaissances rationnelles vers l'avant », qui sont appelées par l'exigence immanente d'intelligibilité.

J'examine tout d'abord les circonstances intellectuelles et historiques qui ont pu amener à considérer le thème de la création pour la connaissance scientifique, ainsi que le contexte philosophique contemporain qui a généralement rejeté ce thème en dehors de la philosophie de la connaissance (une des raisons en étant la réduction du rationnel au logique). Il nous paraît que ce thème pose en premier lieu la question du rapport entre création et rationalité, et qu'il suppose de faire droit à l'*intuition*, entendue comme *intuition intellectuelle*. Ces prémisses étant posés, un certain nombre de questions philosophiques apparaissent, dont on esquisse les lignes directrices d'une approche possible.

Le cours est organisé comme suit (ce seront en principe les chapitres du livre) : 1. Introduction.- 2. La question d'une philosophie des fondements rationnels.- 3. La question d'une philosophie de la création scientifique.- 4. La science comme pensée symbolique et conceptuelle (rappels et remarques spécifiques). - 5. Sujet transcendantal et connaissance objective. - 6. Travail de la pensée et fonction de rationalité.- 7. Les allers et retours du sens commun. - 8. Structure et changement.- 9. Nouveauté et émergence, genèse, vues dans la perspective de la création scientifique.- 10. Conditions de possibilité de la création rationnelle (Les élargissements de la rationalité).

3. Genèses et fonctions de la rationalité. (Cours à l'USP, 2005 et 2006).

Le cours précédent se fondait essentiellement sur la science comme corps structuré de connaissances, de representations et d'explications, selon ses dimensions symboliques, conceptuelles et théoriques, en considérant aussi bien ses formes actuelles que son développement historique. Nous admettions, en conclusion, que la pensée scientifique, dans son propos de rendre compte de manière de plus en plus précise, adéquate et englobante des faits du monde (qui incluent ceux de la pensée), requiert comme condition de possibilité un élargissement correspondant des structures de la rationalité qui président à la formation de concepts.

Dans le cours proposé maintenant, il est question d'examiner sous divers points de vue le problème de la *rationalité* humaine en général, la rationalité scientifique n'en constituant que l'une des formes les plus élaborées, la plus nettement visible et distincte, d'ailleurs conçue expressément de manière séparée des autres dimensions et fonctions de la pensée humaine. L'une de nos premières interrogations portera précisément sur le rapport entre la rationalité et les autres dispositions mentales. Nous envisagerons la rationalité sous les aspects de sa *fonction*, de ses *formes* et de sa *structuration*. Après un essai de récapitulation des considérations faites antérieurement sur la rationalité scientifique, nous examinerons la fonction de rationalité dans ses diverses dimensions, de sa définition, de sa (ou ses) genèse(s) ou constitution(s) et de son développement. Nous constatons l'universalité et la permanence de cette fonction sous des formes de rationalité différentes, telle qu'on peut les caractériser à partir des faits rapportés par les sciences neurocognitives, sociales et anthropologiques. Cette recherche, de nature philosophique, revêt nécessairement un aspect pluri- et interdisciplinaire, à la jonction de l'épistémologie des sciences exactes et de la

nature, de la sociologie et de l'anthropologie de la connaissance, aussi bien que de l'histoire.

Nous retrouverons en fin de parcours, à travers cette diversité de situations, la fonction dynamique du rationnel dans la production et dans l'appropriation des connnaissances, ce qui nous amènera à évoquer la portée cosmologique des élargissements du rationnel comme caractéristiques de la situation de l'homme dans l'Univers.

Le cours est organisé comme suit (ce seront en principe les chapitres du livre : 1. Introduction. Raison humaine et formes de rationalité.- 2. Fonction de rationalité et systèmes de connaissances (Rationalité scientifique et rationalité technique : fonction, formes et structure. Rationalités comparées dans les systèmes de connaissance de diverses cultures). - 3. La raison comme disposition humaine et le monde (Raison, émotions, volonté. Entendement et perception. Connaissance implicite ou tacite et décisions rationnelles. Rationalité concrète et rationalité abstraite. Raison et action. Rationalité et création de connaissances nouvelles, rappel).- 4. Raison et comportement : de la biologie à la culture (« Raison animale » et raison humaine instinctive ou pratique, « calcul naturel ou inné », représentation symbolique.) – 5. Aspects cognitifs de l'acquisition de rationalité (La matérialité de la rationalité, ses bases physiologiques : l'organisation du système nerveux. Le niveau de l'indivídu : psychologie cognitive. Raisonnement conscient et inconscient).- 6. Conscience et rationalité (Emergence de la rationalité abstraite et retour réflexif ; le problème des valeurs).- 7. La dimension sociale du rationnel : éducation et vie en société.- 8 et 9. Genèse et exercice du rationnel : approches anthropologiques (Les outils et l'hominisation ; le rationnel dans les sociétés sans histoire écrite). - 10. La raison et les mythes. - 11. Sociologie et épistémologie (L'apport de la notion de champ intellectuel, esthétique, scientifique, etc. ; contre la dissolution du rationnel : critique du relativisme social). - 12. Dynamique du rationnel (Reprise du thème abordé dans les 2 volumes précédents à la lumière de ces développements : diversité des formes et unité de la fonction du rationnel ; l'exigence d'intelligibilité et le mouvement conjoint de la connaissance et de ses conditions de possibilité ; la raison dans l'histoire ; retour aux représentations symboliques, leur nature et leur portée ; raison et pénétration du monde ; la fonction dynamique du rationnel dans la production et dans l'appropriation des connaissances ; portée cosmologique des élargissements du rationnel : évolution et création).

(Fin de l'Addition de janvier 2008).

II.3.12. (N) TRADITIONS ET TRANSMISSION DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES

Ce thème comporte les sujets suivants : Sur l'histoire des sciences en Amérique latine [1992f]. Problèmes de traditions et d'influences. Histoire des relations scientifiques entre pays dépendants et puissances coloniales ou impériales. Questions de styles et de traditions scientifiques. Relations scientifiques entre pays de développement inégal et de traditions scientifiques

différentes (place des sciences dans les racines de la dépendance). J'ai écrit plusieurs articles sur ces sujets.

Ces recherches, au début, ont été réalisées dans le cadre du programme « Science et empires » de l'équipe REHSEIS. Le thème que j'ai privilégié dans ces études est celui des traditions scientifiques, et il présente cet intérêt de nécessiter une attention aux facteurs « externes » tout en se préoccupant de déceler les champs de rationalité dans l'approche des problèmes scientifiques (par exemple, dans le cas de la physique mathématique et théorique au tournant du présent siècle, comparée dans différents contextes).

Formation d'une tradition physico-mathématique au Brésil

Les circonstances de l'implantation de la science contemporaine dans les pays d'Amérique du Sud comme le Brésil ou l'Argentine constituent un bon révélateur des conditions intellectuelles, mais aussi institutionnelles et sociales de l'établissement d'une tradition scientifique propre dans des « pays neufs » anciennement dépendant de puissances coloniales. Ce type d'étude nécessite une attention aux facteurs 'externes' tout en se préoccupant de déceler les champs de rationalité dans l'approche des problèmes scientifiques (par exemple, dans le cas de la physique mathématique et théorique au tournant du XIXe et du XXe siècles, comparée dans différents contextes). [1991b, 1992a]

La réception de la relativité au Brésil et l'influence des sciences européennes.

Je me suis intéressé à la réception de la Relativité au Brésil et à l'influence des traditions scientifiques européennes, en analysant tour à tour les circonstances de l'observation de l'éclipse de 1919 effectuée à Sobral au Brésil, le voyage d'Einstein en Amérique latine en 1925 et ses effets sur la science locale, enfin la réception de la théorie chez les physico-mathématiciens brésiliens, et son rapport avec les situations analogues en France. Ce travail pourrait être étendu à des études comparatives avec d'autres pays d'Amérique latine (comme la Colombie et l'Argentine).

La réception de la théorie de la relativité s'est effectuée au Brésil au début des années 1920 et fut, comme en beaucoup d'autres endroits dans le monde, l'objet de débats scientifiques et philosophiques, chez les universitaires comme dans le public. Ces débats marquèrent la constitution d'une Académie des sciences, et jouèrent un rôle important dans la constitution d'une communauté scientifique tournée vers la recherche scientifique. Les circonstances de cette réception furent marquées par deux événements significatifs qui sont analysés ici : la réalisation à Sobral, dans le Nordeste du Brésil, de l'une des deux observations de l'éclipse de 1919, faites sous la direction d'Eddington, pour vérifier la prédiction de la théorie de relativité générale sur la courbure des rayons lumineux passant au voisinage du Soleil ; et le voyage d'Einstein en Amérique du Sud en 1925, son séjour au Brésil et sa rencontre avec les scientifiques brésiliens. Puis nous examinons la réception des nouvelles conceptions physiques, par les textes publiés et les contenus scientifiques en jeu. Elle est instructive de l'état de la communauté scientifique du pays à l'époque, des tendances d'une tradition scientifique locale en formation et des rapports d'influence entretenus avec les

traditions des pays européens, en particulier la « tradition française ». [1996c, 1999l].

J'avais l'intention d'étendre ce travail à une étude comparative avec d'autres pays d'Amérique latine (comme l'Argentine et la Colombie), mais faute de temps ce projet est actuellement laissé de coté. Je dirige toutefois une thèse sur l'histoire de la physique en Argentine (de Carlos Galles), et j'ai repris l'étude comparative sur la Colombie avec Regino Martinez Chavanz (article en préparation), dans le cadre de la collaboration franco-colombienne Ecos-Nord.

Addition, janvier 2008. Voir : *Formación de Cultura Científica en Colombia. Ensayos sobre Matemáticas y Física* (éd. en collab. avec Arboleda, Luis Carlos) [2004a] ; Formación y Desarollo de la Cultura Científica en Colombia : La Física de 1880 a 1940 (en collab. avec Regino Martinez-Chavanz) [2004k] (vers. en français : La Physique en Colombie, de 1880 à 1940. La réception de la théorie de la relativité [2004k/Fr]. (Fin de l'addition.)

Aspects épistémologiques et méthodologiques

Je me suis également intéressé aux aspects épistémologiques et méthodologiques des problématiques posées par les recherches historiques sur le rôle de la science dans les rapports entre les peuples, notamment en ce qui concerne leurs incidences sur la définition de la science et de l'objet de l'histoire des sciences. Mes contributions sur ces sujets appartiennent au thème L.

II.3.13. (L) UNIVERSALITE, RATIONALITE, VERITE DES SCIENCES. DES QUESTIONS PHILOSOPHIQUES A L'EPREUVE DE L'HISTOIRE

Les sujets compris dans ce thème sont les suivants (il existe, inévitablement, des recoupements avec les autres thèmes). Rapports entre science, histoire des sciences, philosophie, histoire. Les sciences et l'histoire des sciences comme champs de problèmes philosophiques. Histoire et histoire des sciences (méthodologies, objets, problématiques). Universalité, rationalité, vérité des sciences : des questions qui sont au point de rencontre entre la philosophie et l'histoire. Rapports entre la philosophie et l'histoire. Problèmes méthodologiques de l'histoire des sciences. L'idée d'universalité de la science et sa critique philosophique et historique (article, livre en préparation). La constitution des concepts scientifiques et leur conditionnement par le contexte historique intellectuel et social (ex.: le temps).

L'idée de l'universalité de la science

J'ai entrepris d'examiner de manière critique l'idée de l'universalité de la science, telle qu'elle se propose du point de vue philosophique et dans l'histoire de la philosophie, et de la confronter à la « réalité de la science » telle que nous pouvons la percevoir dans ses modalités actuelles aussi bien que par les leçons de l'histoire des sciences. Ce thème, éminemment philosophique, qu'est l'idée

d'universalité de la science, est particulièrement propre à faire voir comment la philosophie des sciences ne peut être conçue séparée de l'histoire de ces dernières, qui informe sur les contenus effectifs et sur les pratiques, aux diverses époques et dans les différents contextes, de ce qui est admis comme science, et permet de confronter cette réalité à l'idée, telle qu'elle peut être alors conçue, d'universalité. Inversement, les faits historiques de ce que l'on appelle science, en particulier à notre époque, dans la diversité des disciplines, et dans la pluralité - qui reste encore pour beaucoup, à être inventoriée - des manières dont elle est produite, reçue, assimilée, interprétée et transformée, ne peuvent être saisis en profondeur que selon des mises en problèmes qui font appel à une pensée critique, c'est-à-dire philosophique. Il s'agit donc, après avoir posé philosophiquement le problème de l'universalité de la science, de confronter cette idée, telle qu'elle se présente aux différents étapes de l'histoire des idées, et en particulier de nos jours dans les discussions philosophiques et scientifiques, à la réalité historique de la production, de la diffusion et de l'assimilation de la connaissance scientifique conçue selon ses différentes dimensions (incluant ses applications et ses liens aux techniques et à la technologie). J'ai exposé ces idées tout d'abord au Séminaire interne de l'équipe Rehseis, puis au 4è Congrès latino-américain d'histoire des sciences à Bogotá, en 1997, dans ma communication à la conférence Needham tenue à New Delhi la même année, et dans des cours et conférences donnés au Brésil et en Colombie, ce qui a donné lieu à plusieurs publications [Paty 1997c, d et f, 1999c et d].

Cette question a été proposée à des collègues comme axe d'études comparatives de nature historique sur les sciences, leur production et leur réception, notamment dans des contextes différents de ceux de l'Europe occidentale.

L'histoire comparative des sciences modernes et le contexte de dépendance

Dans *« L'histoire comparative des sciences modernes et le contexte de dépendance »*, je fais valoir que les études historiques sur la place de la science dans le développement des peuples et dans les rapports entre les puissances économiques et les pays dépendants ont permis depuis quelque temps d'élargir le champ de l'histoire des sciences à des situations et à des problèmes jusqu'alors ignorés. Elles contribuent à élargir la conception de la science en conformité avec sa réalité vécue, considérant les acteurs des activités scientifiques et techniques, les contenus de connaissance, les contextes et les implications sociales et culturelles. La confrontation de ces recherches 'différentielles' (d'objets caractérisés de manière précise dans l'espace, dans le temps, suivant les disciplines, etc.) fournit des éléments d'analyse comparative qui révèlent des traits structurels de la diffusion, de la rencontre et de l'intégration des sciences. Ces éléments permettent de relever quelques problèmes épistémologiques significatifs posés par ce riche chapitre de l'histoire des sciences. ([1996f, 1999e]).

Histoire et histoire des sciences

Les travaux de recherche historique sur les contenus scientifiques et les aspects comparatifs, ainsi que les questions de transmission des connaissances,

ont soulevé un certain nombre d'interrogations relatives à la méthode historique qui ne se satisfont pas d'une coupure entre les contextes sociaux et les contenus scientifiques, ni d'une réduction des seconds aux premiers. Par ailleurs, l'« histoire sociale des sciences » n'épuise pas ces questions, dans la mesure où elle ne porte que rarement sur les aspects épistémologiques de l'histoire des sciences. C'est pourquoi j'ai pensé qu'il serait intéressant de procéder, au sein de l'équipe REHSEIS, lorsque j'en étais directeur, à une réflexion collective sur les rapports entre histoire des sciences et histoire, cette dernière étant entendue dans son sens général, en particulier tel que voulaient la voir se développer les fondateurs de l'Ecole des Annales. J'ai suscité l'étude de ce thème, notamment aux réunions internes de l'équipe, depuis 1995, en faisant appel à des historiens extérieurs à l'équipe, et à des philosophes et historiens des sciences extérieurs ou appartenant à l'équipe. L'une des directions de la réflexion engagée en commun par les membres de l'équipe sur ce thème est d'aborder ces problèmes par une confrontation entre historiens des sciences et historiens à partir de leurs sujets d'étude, en essayant de faire surgir des éléments significatifs du point de vue des épistémologies respectives de ces disciplines. Ce programme mûrit lentement mais continûment : il suscite un réel intérêt de la part des chercheurs. Il vaudrait la peine d'organiser un Colloque international sur ce thème. J'indique aussi que le sous-titre de la revue *Epistémologiques*, « Philosophie, sciences, *histoire* » (voir l'Annexe A), porte la trace de cette préoccupation.

D'une manière générale, la réflexion sur les rapports entre science, histoire des sciences, philosophie, histoire reste un souci constant dans mes recherches. La conviction (mentionnée plus haut) que les sciences et l'histoire des sciences peuvent être considérés comme des champs de problèmes philosophiques en est au soubassement.

Les vérités scientifiques et le sens commun.

D'autres interrogations sur des notions générales reliées à des valeurs, en relation aux débats d'idées contemporains, comme celle de vérité scientifique, de rationalité, ou sur le rapport entre science et sens commun, ont été l'objet de diverses interventions, dans la perspective de les approfondir, en relation tant au thème de l'intelligibilité qu'à celui de l'historicité. En particulier, dans l'article *« Les vérités scientifiques et le sens commun »*, je m'interroge, en relation aux débats d'idées contemporains, sur la notion de vérité scientifique et sur l'idée de vérité, ainsi que sur les notions de réalité, de rationalité, d'universalité, sur les critiques qui les prétendent dépassées et sur la nécessité de les maintenir comme références régulatrices. La raison reste l'arme de la critique, et elle guide aussi bien la science que le sens commun. ([1999p]). Dans « *La science et les aller-retours du sens commun* », je pars de l'idée qu'on ne peut concevoir de compréhension ni de communication sans référence au sens commun. Mais, d'un autre côté, il ne peut y avoir de connaissances nouvelles d'une certaine importance sans dépassement de ce sens commun, et donc sans une rupture avec lui. Ces deux exigences, qui paraissent à première vue contradictoires, peuvent-elles être conciliées ? On doit considérer que lorsque des connaissances vraiment nouvelles sont assimilées et devenues pleinement intelligibles, qu'elles sont objet

d'enseignement, voire de divulgation, et servent de base pour aller de l'avant vers d'autres connaissances plus nouvelles encore, elles participent dès lors d'un nouveau « sens commun », modifié, différent de celui qui précédait, mais avec la même fonction pour la compréhension et la communication. On montre, en s'appuyant sur plusieurs exemples pris dans la physique contemporaine (théorie de la relativité et physique quantique), que ce nouveau sens commun bénéficie des élargissements de la rationalité qui permettent de comprendre qu'un progrès des connaissances soit possible. Ces considérations ont des implications éthiques, du point de vue de la communication, par la possibilité de partager les connaissances en termes intelligibles avec des non-spécialistes, à travers un sens commun soumis à l'exigence de la critique. Il apparaît nécessaire de réfléchir sur les éléments de signification de la connaissance dont le partage est prioritaire, et sur les conditions de ce dernier. ([2002m, 2003i]).

Intelligibilité et historicité. Science, rationalité, histoire

L'un des principaux objectifs de la science est de montrer que « le monde est intelligible » par la raison humaine. Cette tentative de compréhension rationnelle a une histoire, laquelle est étroitement liée à celle des sciences, mais aussi à celles des techniques et de la philosophie. Après avoir montré comment la considération des sciences dans l'histoire ouvre ou renouvelle un vaste champ de problèmes philosophiques, nous examinons la question de l'intelligibilité sous divers aspects qui vont de la rationalité (plus large et complexe que la seule logique) à l'action pratique (avec la pensée technique), à l'esthétique et aux choix éthiques, à la communicabilité des connaissances, dans le temps et dans l'espace, et aussi à la création scientifique. Nous analysons ensuite les rapports entre construction sociale et historicité, en faisant ressortir toute l'importance des contenus de connaissance, qui ne se laissent pas dissoudre dans les conditions externes de leur constitution. Toute la richesse de l'historicité se laisse voir dans la manière organique dont ces contenus sont tissés à partir de matériaux du monde empirique assimilés dans des constructions rationnelles. L'historicité elle-même nous devient intelligible, et permet de concevoir les élargissements de la rationalité qui permettent les ouvertures, les inventions et les progrès de la connaissance. (Conférence au Colloque *Les grands rendez-vous de la science et de l'histoire*, Palais de la Découverte et UNESCO, Paris, 20-25 mars 2000, Séance de clôture sur *« L'Histoire des sciences dans le patrimoine mondial »*, le 25.3) ; et à la séance sur « *Science et diversité culturelle - Ciencia y diversidad cultural - Science and Cultural Diversity* », Simposio Alexander von Humboldt y la Historiografía de la Ciencia, *VII Congreso Mexicano de Historia de la Ciencia y la Tecnologia*, Pachuca, Mexique, 26-29 novembre 2000 (le 27.11). (Le second exposé, donné en espagnol, avait pour titre : Reflexiones sobre las relaciones entre la inteligibilidad y la historicidad en las transmisiones y las criaciones de conocimientos cientificos). [2001a].

Addition, janvier 2008. Voir les études suivantes : Intelligibilité rationnelle et historicité [2005m] (trad. en portug. (Brésil) : [2005l]) ; Du style en histoire des sciences [2008f]. (Fin de l'addition).

Science et diversité culturelle : incidences philosophiques. La question de la rationalité face à la diversité des pratiques de connaissance

J'ai proposé quelques pistes de réflexions sur les incidences philosophiques du thème d'histoire des sciences « Science et diversité culturelle », prévu pour pour le Congrès International d'Histoire des Sciences de Mexico (juillet 2001), et concrétisé par la création de la Commission IASCUD (voir III.2.6), avec le texte *« Incidences on the philosophy of science of the historiographical thema "Science and cultural diversity" »* ([2001h]). J'ai examiné, en particulier *« La question de la rationalité face à la diversité des pratiques de connaissance »*, travail présenté au Symposium IASCUD à ce congrès. L'argument en est le suivant. La diversité des pratiques de connaissance qui correspondent, dans des systèmes culturels différents, à ce que nous appelons « science » dans le notre (ou les notres) pose la question non pas seulement de savoir si ces sciences ou connaissances sont comparables et comment, mais aussi, plus profondément, celle de la rationalité à laquelle elles correspondent. Je me propose de situer quelques aspects de cette dernière question d'un point de vue méthodologique, tant philosophique qu'historique. Je montre, en particulier, que l'histoire des sciences fournit à cet égard des éléments, en laissant discerner, sous les transformations des contenus de connaissance, des transformations corrélatives de la rationalité qui permettent de découvrir, de reconnaître et d'assimiler les connaissances nouvelles. [à paraître,i].

Le mythique et le rationnel dans les « théories limites » de la science contemporaine

On peut s'interroger sur la curieuse juxtaposition fréquemment constatée de nos jours entre des connaissances scientifique très élaborées dans un monde marqué par elles, d'un côté et, de l'autre, des croyances et des pratiques qui représentent plutôt le contraire des premières, et se rattachent au mythologique ou à l'irrationnel. Cet état de chose a lieu, en particulier à propos de certains aspects de la connaissance scientifique touchant à ses « problèmes-limites », qui étaient conçus hier encore comme en dehors des possibilités de la connaissance scientifique. Au moment même où ils commencent à être légitimement l'objet d'approches scientifique, ils suscitent des considérations et des interprétations qui paraissent plutôt se rapprocher d'une forme de pensée mythique. Après ce constat, on rappelle, pour mieux situer ces « résurgences », quelques éléments de réflexion sur les conditions de la pensée scientifique et rationnelle, ainsi que, de manière comparative, sur le rationnel tel qu'il se présente respectivement dans la pensée scientifique et dans la pensée mythique, puis sur la pensée « substantialiste ». On évoque ensuite quelques unes des « théories limites » de la science contemporaine, en physique, en cosmologie, en biologie, et on analyse quelques « solutions mythiques » de problèmes de science telles qu'on les rencontre, parfois sous la plume de scientifiques mêmes. Il semble bien que la meilleure antidote à de telles tendances, toujours renaissantes par la nature même de la pensée humaine, soit la réflexivité critique de la pensée scientifique. [A paraître, w].

Addition, janvier 2008. La plupart des études sur les thèmes ci-dessus se rattachent au nouveau thème (2.3.11' (M'). (Fin de l'Add,).

II.3.14. (Q) ETUDES CRITIQUES DIVERSES

Etudes critiques et mises au point sur des travaux récents. Il s'agit en général de sujets extérieurs à mon propre champ de recherche mais que j'estime importants pour la réflexion et pour dégager les problèmes significatifs et les méthodes utiles. C'est ainsi que j'ai fait une enquête sur les tendances et les manques de l'histoire de la physique en France ([1985e]), ou que j'ai étudié des ouvrages sur l'histoire des mathématiques arabes et la philosophie qui s'en dégage ([1985h, 1987a]).

Addition, janvier 2008 : voir l'essai sur : Champ scientifique, science de la science et réflexivité selon Pierre Bourdieu. (Sur l'ouvrage de P. Bourdieu : *Science de la science et réflexivité*) [AP,i]. (Fin de l'addition).

II.4. SCIENCE, CULTURE ET SOCIETE : REFLEXIONS ET PARTICIPATIONS

II.4.1. (R) DIVULGATION DES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES

J'ai contribué à la divulgation des connaissances scientifiques. Par des conférences (voir III.6), des participations à des réalisations audiovisuelles (radio et télévision), par des livres et des articles (*La Recherche*, *Science et Avenir*, etc. : voir publications, IX, et quelques exemples ci-dessous).

II.4.1.a Participation à des réalisations audiovisuelles :

- *Objet Einstein. I : l'apport. II: le mythe*, d'Emile Noel, avec Giovanni Ciccotti, Baudouin Jurdant, Jean-Marc Lévy-Leblond, Michel Paty, *France-Culture*, 27.10 et 3.11.1979 (14h-16h15) (2x 2h 20).

- *De l'atome aux particules*, dans la série *La matière aujourd'hui* d'Emile Noel (2è émission), avec Michel Paty, *France-Culture*, 3.12.1980 (19h30-20h).

- *Autour du Colloque de Cordoue*, dans la série *Le monde contemporain* de Jean de Beer et Francis Crémieux, avec Michel Cazenave, Yves Galifret, Pierrre Grassé, Michel Paty, Jean-Pierre Vigier, *France-Culture*, 27 déc. 1980 (9 h.05 - 10 h.20).

- Participation à *En un temps incertain, en des lieux Incertains, Titus Lucretius Carus, poète latin*, émission de Michèle Cohen et Jeanine Antoine, avec la participation de Etienne Balibar, Marcel Bénabou, Olivier Bloch, Michel Paty, Francis Ponge, Clément Rossel, Eduardo Sanguinetti, Michel Serres, Jacques Sojcher, *France Culture*, samedi 28 mars 1981 (14 h.05 - 16 h.20).

- *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 min : 5, 12, 19, 26 sept., 3, 10, 17, 24 oct.1981 (8h-8h30).

- *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 (22h10-23h25).*

- *L'étrange histoire des quanta*, dans la série *La science en marche* de François Le Lionnais, *France-Culture*, 16 et 23.6.1982 (19h30-20h).

- *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 (9h-10h30).

- *L'objectivité en sciences* par Pierre Thuillier, avec Marcel Blanc, Roger Carattini, Michel Paty, Armand de Ricqlès, dans la série *La Science et les hommes*, *France-Culture*, 17.10.1984.

- *L'envers des Univers*, réal. Marceau Ginesy, prod. Grisha et Igor Bogdanov, (participation de X…, Michel Paty, Y…), émission de télévision, *TF1?*, vers 1982.

- Participation au film de Thierry Strub, *Paradoxe de simultanéité*, produit par Monique Sicard, CNRS audiovisuel , 7 min, date ? 1986?

- *La science et le Tiers-Monde*, avec Martine Barrère et Michel Paty, dans le magazine *Archipel science*, *France-Culture*, produit par Stéphane Deligeorges, 28.6.1988.

- *La matière dérobée*, par Pierre Thuillier, avec Michel Paty, Bernard d'Espagnat, Gilles Cohen-Tannoudji, Jacques Merleau-Ponty, dans la série *La science et les hommes*, *France-Culture*, 21.12.1988 (9 h.05-10 h.30).

- *La Révolution française: la révolution des esprits*, avec Jean Starobinski, Michel Paty, Arlette Cérulin, Terence Quin, réalisée par Elisabeth Gordon et Raphael Aubert, *Radio Suisse Romande*, 6 janvier 1989.

- *A ciencia e os imperios*, entretien (en portugais) avec Michel Paty par Simon Schwartzman, *Radio Cultura*, São Paulo, Brésil, octobre 1990.

- *Physique et épistémologie*, entretien avec Michel Paty par Michel Cazenave, dans la série *La science et les hommes*, *France Culture*, 23 janvier 1991.

- *Einstein e o pensamento contemporaneo*, entretien (en portugais) avec Michel Paty par Jacques Markovitch, *Radio Cultura*, São Paulo, Brésil, avril 1991.

- *La institucionalización de la invesitigación cientifica*, entretien (en espagnol) avec Michel Paty, *Radio Nacional de Bogotá*, Colombie (enr. 21 janvier 1992).

- *Einstein et la physique contemporaine*, entretien avec Jacques Merleau-Ponty et Michel Paty, par Michel Cazenave, dans la série *La science et les hommes*, *France-Culture*, Paris, 3 février 1993.

- *Ciencia, cultura, ética, démocracia*, Table-ronde, rectorat de l'Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (participation de MP), (en espagnol), *Télévision, Canal Cultura*, Bogotá, enr. avril 1993.

- *A conexão da filosofia com a física e a matemática*, entretien (en portugais) avec Lafayete de Moraes, émission réalisée par Marco Antonio Coelho, dans la série *Uma janela para o mundo*, *Radio-USP* (São Paulo, Brésil), enr. le 13.10.93, diffusée le 8 janvier 1994.

- *Henri Poincaré, homme de science universel*, dans la série *La science et les hommes*, par C. Paoletti, réal. M. Mezgach, avec Amy Dahan-Damelico, Hourya Sinaceur, Jean-L. Greffe, Gehrard Heinzman, Michel Paty, *France-Culture*, 15 juin 1994.

- *L'impossible retour du temps*, dans la série *La science et les hommes*, par Emile Noel et Philippe Boulanger, avec la collaboration d'Hervé Thys, réal. M. Mezgach, avec Michel Paty, *France-Culture*, 8.2.1995 (9h-10h30).

- Participation à un débat filmé sur l'histoire des sciences et l'Amérique latine, avec Luis-Carlos Arboleda, Silvia Figueroa, Thomas Glick, Antonio Lafuente, Michel Paty, Emilio Quevedo, Juan-José Saldaña (en espagnol), dans le cadre du programme « *Divergencias* » de l'*Universidad del Valle* à la télévision régionale de la ville de Cali et du département de Cauca, enr., le 27.1.1995.

- Participation à *Complexité scientifique et choix démocratique*, à partir du Colloque organisé par l'ADAPES, Cité des Sciences et de l'Industrie, La Villette (14.3.1996). Emission TV. Réalisateur: Christian Lioud. Producteur exécutif: Thomas Mourrat. Production : Gédéon et Cie/EDF (durée: 2 h). Diffusion *Télévision La 5*, France, 4.5.1996 (4h-6h).

- *La quête de l'unité en physique*, émission de Pierre Thullier, avec Marc Lachièze-Rey et Michel Paty, réal. M. Mezgach, dans la série *La science et les hommes*, *France-Culture*, 20.11.1996 (9 h-10h30).

- Contributions (en anglais) à : *Poincaré and relativity*, dans la série *Giants shoulders* (Ruth Gardiner produc.), *British Broadcasting Company*, enr. 7.2.1997, diffus. 9.1997.

- Observações sobre o movimento estudantil de maio de 68, Entrevista/Interview (en portugais) de Michel Paty, dans le cadre d'une série d'émissions radio *Para comemorar os 30 anos de maio de 1968*, par Adriana Brandão, *Radio France Internationale* (Brésil, en portugais), 2 émissions de 10 min, diffusées le 27.5.1998 (le matin et le soir).

- *D'Alembert*, Emission radio avec Michel Paty, dans *Philambule*, de Francesca Piolot, *France-Culture*, 24.6.1998, 21-22 h.

- *Réflexions sur le concept de temps*, Conférence organisée par le *Centre National de Documentation Pédagogique* dans le cadre de la *Fête de la Science*, Grand salon de la Sorbonne, Paris, 18 octobre 2000, Enregistrement *Vidéocassette du CNDP*, 1h. Extraits sur le réseau *Internet*, novembre 2000.

- Réponse à des questions de Virginie Guedj, sur Einstein et Israël, *Radio-Shalom*, jeudi 18 avril 2002, vers 16h20.

- Réponses en direct à des questions sur la divulgation scientifique, en portugais, *Radio USP* (Universidade de São Paulo, Brésil), jeudi 29.8.2002, 11h 30-11h45.

- Filmé anonymement (scène de rue) dans une séquence pour une série de clips télévisés sur la *liberté de la presse*, 2003 (1 ou 2 min). (Diffusions répétées épisodiques sur les chaînes publiques).

- Sobre o movimento dos pesquisadores franceses, 1 : entrevue (en portugais) par Adriana Brandão, *Radio France Internationale (RFI*, Brésil*)*, *Fait du jour*, 30.01.2004 (5 min) ; Sobre o movimento dos pesquisadores franceses, 2 : entrevue (en portugais) par Adriana Brandão, *Radio France Internationale (RFI*, Brésil), *Magazine Sciences*, 5.01.2004 (5 min).

- Participation comme invité à l'émission *« Spéciale Einstein », dans « Question Science », TV France 5* (avec François de Closets, Françoise Balibar, Michel Paty, Claude Thélot, interrogés par Stéphane Khémis ; réalis. Frédéric Le Clair). Enregistrement sur le plateau Palais Image le lundi 14 février 2005, diffusion le jeudi 24 février 2005 (Fr 5 cable et satellite).

- Participation (entretiens) à l'émission de Maria, Alice [2005]. *Einstein* (Brasil, 2005 ; realis. : Alice Maria ; produção: Cristina Aragão ; entrevista : Celia Perone ; entrevistado : John Stachel ; contrib. entrev. : Michel Paty (en portug.) ; émission : 13 de abril de 2005 ; TV Globo, Brasil.

- Entrevista (Entretien) pour le *Site Internet « Republica do Livro »*, São Paulo (Br), juin 2006. (Diffusion momentanée de la transcription, de la bande audio et en partie vidéo, sur le Site : http://www.republicadolivro.com.br/).

- Entrevue par Adriana Brandão « A propósito do livro *Michel Paty e o Brasil* (Discurso ed, SP, 2006) », *Radio France Internationale* (Brésil), 26 février 2007 (10 mn, en portugais).

- Commentaires sur le projet « *Fragile embarcadère. Chantier de la pensée publique* » de Isabelle Bonté, sculptrice, enr. cinéma-vidéo par Milena Donato, cinéaste documentariste, xxxx, Paris, enr. . r. des Malmaisons, Paris 13e, 18 février 2007.

- Contribution au DVD : Freire, Vitor [2007]. *Michel Paty e o Brasil* (*Michel Paty et le Brésil*) (Brasil, 2007 ; Realização e edição de Vitor Freire ; Video-Documentário, DVD).

- *A ciência como pensamento simbólico*, enregistrement-gravação do Curso dado na USP, julho-set. de 2007, editado por Emerson Assis, 4 DVD.

- *O Conhecimento Científico da Matéria Imperceptível: a física quântic*a, enregistrement-gravação do Curso, Oficina do Relacionamento, São Paulo, SP, Brasil, sept. 2007, 4 DVD.

- La connaissance scientifique comme pensée symbolique. Quelques implications philosophiques et épistémologiques de ce point de vue, Conférence de clôture, *Colloque « Michel Paty, philosophe et historien des sciences »*, Université de Tunis, Tunisie, 21 novembre 2007, enregistrement vidéo, 1 DVD.

- *Science et philosophie. La pensée symbolique du monde*, Deux Conférences aux élèves de Terminale du Lycée Laeticia d'Ajaccio, 11 janvier 2008, enregistrement vidéo, 2 DVD.

2.4.1.b. Cassettes, Vidéo, CD-Roms, DVD.

- *A dimensão filosofica do trabalho científico. O caso Einstein.* Conférence donnée (en portugais) à l'Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brésil, 5.9.1995. Enregistrement video réalisé par *Expogeo*, Salvador, Brésil, 1995 (durée: 1h30).

- Participation (en portugais) à la *Mesa redonda "Incerteza e realidade"*, avec Umberto Cordani, Ciro Marcondes Filho, M.P., Felippe Serpa, Fernando Pedrão, Delio Pinheiro, *Instituto de Estudos Avançados*, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brésil, le 6.9.1995. Enregistrement video réalisé par *Expogeo*, Salvador, Brésil, 1995 (durée: 4h).

- *Défis et complexité du troisième millénaire : le droit à l'énergie*, Michel Paty, Christian Stoffaes, Christian Bataille... [et al.], participants; Christophe Lioud, réal. ; Association des amis de Passages, éd. ; Electricité de France, Médiathèque, distrib., 1997, 1 cassette vidéo (1 h 58 min), coul., SECAM, 1/2 pouce VHS.

- *La matière dérobée* [Enregistrement sonore] [France-Culture, émission diffusée le 29 mars 1989], Jacqueline Archambeaud, réal. ; Émile Noël, Pierre Thuillier, interview., prod. ; Jacques Merleau Ponty, Michel Paty, Bernard d'Espagnat, Gilles Cohen Tannoudji, participants. Coll. "La science et les hommes", Institut national de l'audiovisuel (INA, Bry-sur-Marne, France), 2 disques compacts (24 min 23 s, 51 min 49 s), 1999.

II.4.1.c Livres

- *L'étrange histoire des quanta*, en collaboration ([1981i, 1991a]. J'ai rédigé une partie d'actualisation (environ un tiers de l'ensemble) du livre « classique » de Banesh Hofmann (avec son accord) sous le titre « Nouveaux voyages au pays des quanta ».

- *La science en questions*, en collaboration ([1986j]), ouvrage pour les jeunes. J'ai rédigé la partie (environ un tiers de l'ouvrage) concernant « L'Univers en questions ».

- *Albert Einstein, ou la création scientifique du monde* ([1997a].

- *D'Alembert, ou la raison physico-mathématique au siècle des Lumières* ([1998a]).

- *La physique du XXe siècle* ([2003a]).

II.4.1.c Articles (choix)

De 1973 à 1982 environ, j'ai publié des articles de vulgarisation sur la physique des particules élémentaires dans divers journaux et revues, notamment dans La Recherche où j'ai assuré régulièrement les informations sur ce domaine (voir II.3.6). En particulier :

- Un pas vers l'unification des théories physiques, *La Recherche* 4, 1973, 790-792 [1973 e]. - Particules élémentaires : le quatrième niveau quantique, *La Recherche* 5, 1974, 265-268 [1974 d].- L'invariance d'échelle : des violations possibles, *La Recherche* 5, 1974, 772-775 [1974 g]. - La mécanique quantique est-elle falsifiable ? *La Recherche* 5, 1974, 960-961 [1974 j]. - Les interactions fortes aux très grandes énergies, *La Recherche* 6, 1975, 57-60 [1975 k]. - Le charme : une interprétation des nouvelles particules, *La Recherche* 6, 1975, 466-468 [1975 m]. - Comment prendre date dans la course au charme ? *La Recherche* 6, 1975, 659 [1975 n]. - Le photon, les leptons et la structure de la matière, *La Recherche* 7, 1976, 63-65 [1976 h]. - Quand le charme vient aux particules, *La Recherche* 7, 1976, 625 [1976 i]. - Le charme laisse des traces, *La Recherche* 8, 1977, 165 [1977 i]. - Voir les quarks, *La Recherche* 8, 1977, 673-676 [1977 j]. - Quand on tue les neutrinos dans l'oeuf, *La Recherche* 9, 1978, 779-781 [1978 l]. - La double désintégration β, *La Recherche* 10, 1979, 66-68 [1979 e]. - Les neutrinos au fond des mers, *La Recherche* 10, 1979, 670-672 [1979 f]. - A la recherche de l'identité des neutrinos, *La Recherche* 10, 1979, 1126-1127 [1979 g]. - Les prix Nobel de physique 1979 : soulever un coin du grand voile des interactions, *La Recherche* 10, 1979, 1242-1243 [1979 h]. - Les protons meurent aussi, *La Recherche* 11, 1980, 590-591 [1980 c]. - Une symétrie violée pour unifier les interactions (Les prix Nobel 1980, Physique), *La Recherche* 11, 1980, 1430-1431 [1980 d].

J'ai également donné des textes de synthèse sur la physique quantique et celle des particules subatomiques dans diverses publications comme *L'état des sciences* (La Découverte), *La Grande Encyclopédie Larousse*, etc.

Après 1983, mes textes de divulgation portent sur divers aspects de la philosophie et de l'histoire des sciences, parus dans des revues et ouvrages comme : *La Recherche*, *Pour la Science*, *Raison Présente*, *Science et Avenir hors série*, *Passages*, …., ainsi que dans diverses encyclopédies. Parmi ceux-ci :

- Des particules à l'univers : l'unification des forces physiques fondamentales, *L'état des sciences* [1983f].

- Le déterminisme remis en cause, *L'état des sciences* [1983g].

- Particules élémentaires, *La Grande Encyclopédie Larousse* [1985a].

- Mécanique quantique (non localité et problème de la mesure), *La Grande Encyclopédie Larousse* [1985b].

- D'Alembert : science et philosophie à l'époque des Lumières, *La Recherche* [1984d]

- La tradition retrouvée des algébristes arabes, *La Recherche*, 16, 1985 (n° 167,

juin), 820-821 [suivi d'une correspondance avec P. Costabel, *ibid.* (n° 169, septembre), 1103-1104].

- (Articles :) D'Alembert, Jean Le Rond, 1717-1783 ; Einstein, Albert, 1879-1955 ; Geymonat, Ludovico, 1908-1991 ; Herschel, John, 1792-1871 ; Herschel, William, 1738-1832 ; Laplace, Pierre Simon, 1749-1827 ; *in* Huisman, Denis (ed.), *Dictionnaire des philosophes*, deuxième éd. rev. et augm., Presses Universitaires de France, Paris, 1993, vol. 1, p. 59-61 ; 908-915 ; 1121-1123 ; 1333-1335 ; vol. 2, p. 1677-1679.

- (Articles :) Calcul vectoriel ; Hertz, Heinrich Rudolf, 1857-1894 ; Lois de conservation ; Mach, Ernst, 1838-1916 ; Science et colonialisme ; *in* Ambrière, M. (dir.), *Dictionnaire du XIX è siècle européen*, Presses Universitaires de France, Paris, 1997, p. 198-199 ; 534-535 ; 693-694 ; 702-703 ; 1087-1088.

- (Articles :) D'Alembert, Jean le Rond, 1717-1773 (vol. 1, 1981, 1984, et *Dict. des Philosophes*, 1998, *Dict. de l'Astronomie*, 1999) ; Duhem, Pierre, 1861-1916 (vol. 6, 1984, et *Dict. des Philosophes*, 1998) ; Einstein, Albert, 1879-1954 (vol. 8, 1993) ; Mach, Ernst, 1838-1916 (vol. 11, 1985, et *Dict. des Philosophes*, 1998) ; Neutrinos (vol. 12, 1985, 1995) ; Newton, Isaac, 1642-1727 (vol. 12, 1995, et *Dict. des Philosophes*, 1998) ; Poincaré, Henri, 1854-1912, en collab. avec Christian Houzel (*Dict. de l'Astronomie*, 1999), *Encyclopaedia Universalis*, Paris, 1981-1999.

- (Articles :) Espace (La critique de Mach) ; Masse (de Newton à Einstein) ; *in* Lecourt, D. (éd.), *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences*, Presses Unversitaires de France, Paris, 1999, p. 374-376 ; 613-616.

- L'impossible retour du temps, *Pour la Science* [1995k].

- Einstein, un homme dans l'univers et dans son temps, Dossier organisé par M.P., *Passages* [1995g].

- A filosofia da tolerância (O conceito de quase verdade de Newton da Costa), *Folha de São Paulo* [1997r].

- Les particules à la rencontre de la cosmologie (en collab. avec Jean Audouze), *Découverte* [2000i].

- Neuf aphorismes sur le neuf… et le passage à l'an 2000, *Passages* [2000l]

- De la population comme grandeur mesurable. Remarques sur les notions de quantification et de population d'après les recherches d'Hervé Le Bras, *Passages* [2000m].

- La pensée créatrice (et la relativité d'Einstein), *Sciences et Avenir Hors série* [2001l].

- Dieu joue-t-il aux dés ? (la nature et les probabilités), *Sciences et Avenir Hors série* [2001m].

- Intelligibité scientifique et sens commun, *Sciences et Avenir Hors série* [2002z]

- Jacques Merleau-Ponty, philosophe de la cosmologie contemporaine (en collab. avec Jean-Jacques Szczeciniarz), *Le Monde*, 14-15 juillet 2002, 12. [2002k]

- La relion cosmique d'Einstein, *Sciences et Avenir Hors série* [2003v].

J'ai contribué récemment à la rédaction d'un chapitre (Science moderne et connaissance, Chapitre 14), du volume VII (*Le XXè siècle de 1914 à nos jours*) de l'ouvrage *Histoire de l'Humanité*, publié par l'UNESCO (Coordination du chapitre et rédaction de plusieurs sections) [à paraître, v].

J'ai donné des compte-rendus de lectures d'ouvrages, dans *La Recherche*, *La Pensée*, *Archives de philosophie*, *Jornal de Resenhas/A Folha de São Paulo/Discurso*, *Passages*, *La Revue d'histoire du* CNRS, *Ciência Hoje*, comme :

- Quantique et métaphore: des images tirées de la vulgate, *La Pensée* [1985r].

- [C-r de lecture.] « Joëlle Proust: *Questions de forme. Logique et proposition analytique de Kant à Carnap* », *Archives de philosophie* [1989n].

- [C-r de lecture] « J. Leite Lopes et B. Escoubès, *Sources et évolution de la physique quantique. Textes fondateurs* », *Lettre des Départements scientifiques du CNRS, IN2P3* [1994j].

- Aventura e coragem na ciência (Sur l'ouvrage d'Abraham Pais, *« Sútil é o Senhor… »*, *A ciência e a vida de Albert Einstein*), *Jornal de Resenha-Folha de São Paulo* [1995m].

- Einstein, um fenômeno planetário (« Abraham Pais : *Einstein viveu aqui* »), *Jornal de Resenha-Folha de São Paulo* [1997q].

- [c.r de lecture] « Jacques Milliez, *L'euthanasie du fœtus* » [1999z].

- [c.r de lecture] « Lelita Oliveira Benoit, *Sociologia comteana, genese e devir* » [1999y].

- [c.r. de lecture de] « Loïc Barbo, *Pierre Curie, 1859-1906. Le rêve scientifique* » [2000o].

- Uma visão antropológica do conhecimento científico (compte-rendu/resenha critique de « Bruno Latour, *Ciência em Ação. Como seguir cientistas e engenheros sociedade afora* ») [2001u].

- Velha revolucionária. A teoria quântica em sua vertente brasileira, trad. por Caetano Plastino, *Jornal de Resenhas (Folha de São Paulo/Discurso editorial)*, n° 84, 13 de abril de 2002, 7 [2002x].

J'ai donné quelques entretiens, publiés dans *Perspicillium* (Rio), *Sciences humaines*, *Science et Avenir*, *Ciência hoje*, etc., notamment :

- As ciências e a reflexão histórica e filosofica sobre as ciências. (Les sciences et la réflexion historique et philosophique sur les sciences.) (En portugais) [1989c].

- Science : des idées et des hommes. Propos recueillis par Benoît Garrigues [1994i].

- Homo scientificus [1995l].

- Física e conhecimento humano, *Princípios* (En portugais) [1998g]

- O século de Einstein, Entrevista com Cassio Vieira, *Ciência hoje* (En portugais)

[2000j]

Ou encore une entrevue imaginaire de Karl Popper, par collage de textes:

- « Le libre-arbitre me tient très à cœur » : Sir Karl Popper interviewé par Michel Paty [1995n].

II.4.2. (S) REFLEXIONS SUR L'ENSEIGNEMENT ET LA RECHERCHE EN PHILOSOPHIE ET HISTOIRE DES SCIENCES

J'ai donné plusieurs contributions sur les questions relatives à l'enseignement et à la recherche en épistémologie et en histoire des sciences, y compris pour critiquer certaines tendances en vogue (« relativisme », etc.) :

- 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.

- Le Séminaire sur les fondements des sciences (Université Louis Pasteur, Strasbourg) (en coll. avec Hervé Barreau), [1975r]. *in Le retour aux sources. Pour l'histoire des sciences dans l'enseignement scientifique français* , Brest, 1975, p. 189-199.

- Science, retour aux sources et fondements, *La Recherche* 7, 1976, 688-690. [1976f].

- 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. [1979 l].

- Physique, philosophie et vulgarisation aujourd'hui, *Bulletin d'information de l'Association des écrivains scientifiques de France*, n° 38, octobre 1989, 77-83. [1989j, 1990i.]

- Considérations sur la recherche française en histoire des sciences physiques et chimiques [1985e].

- Remarques dans l'article de Nicolas Journet, « Comment peut-on être relativiste ? », *Sciences humaines* [1996yb].

J'indique également une intervention sur les problèmes de l'enseignement des mathématiques en rapport aux mathématiques mêmes, lors du *Congresso Nacional de Matemática 2000*, Bogotá, 14-18 agosto 2000 :

- Simples observaciones sobre las matemáticas y la educación matemática, *Lecturas Matematicas* (Bogotá, Col.) [2000s].

II.4.3. (S) REFLEXIONS SUR LES PROBLEMES DE SCIENCE, SOCIETE, POLITIQUE ET DEVELOPPEMENT

Les problèmes de science et société, politique et développement me sont toujours apparu d'une grande urgence et, même si je n'ai pas disposé de suffisamment de temps pour les aborder d'une manière systématique, je considère

comme nécessaire de s'y consacrer quelque peu, ne serait-ce qu'au titre de citoyen disposant d'éléments sur ces questions qu'il est utile de faire connaître et de discuter, y compris dans d'autres milieux sociaux que l'enseignement et la recherche scientifique. Il n'est pas besoin d'insister sur leur importance au niveau international.

Des questions posées à partir des rapports, que nous vivons quotidiennement, entre science et société suscitent des réflexions à différents niveaux, notamment à celui d'interventions publiques, qui peuvent être éclairées par les approfondissements de la philosophie et de l'histoire sur les sciences. Ces questions sont de nature politique et sociale, comme les perspectives de la science au XXI è siècle, le droit à l'énergie, la responsabilité des scientifiques, la question du racisme, la science et l'éthique, la science et les valeurs, la science et la démocratie ([1996b, h, i, 1997i, j, u, 1998f, 1999a, n, p, etc.]) ; mais aussi elles concernent également la divulgation des connaissances (voir II, 6). J'ai contribué dans ces diverses directions par la collaboration avec des revues et ouvrazges périodiques *(Politique aujourd'hui, Etudes brésiliennes* (Paris), *La Nouvelle Critique, La Pensée, Revue de Synthèse, Universalia 1982, La Lettre des cercles Condorcet, Cahiers du Cercle Condorcet, Raison Présente, Passages*, etc.[29]), ainsi que par l'organisation d'ouvrages et de colloques (et divers exposés et interventions).

Parmi mes contributions écrites à ces questions, concernant les points de vue tant culturels que politiques, je mentionne:

Sur les problèmes de l'*Université et de la recherche* dans des *pays en voie de développement*, pendant les régimes de dictature :

- La répression universitaire au Brésil, *Politique aujourd'hui* [1972 f].

- Les scientifiques brésiliens et leur société, *Etudes brésiliennes* [1975s].

Sur la *recherche scientifiqu*e, notamment à l'occasion du *Colloque National sur la Recherche et la Technologie* (1981) :

- La recherche publique en Alsace : le CNRS [1981j].

- 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 [1981k].

- Wissenschaftspolitik in Frankreich (La recherche scientifique et le nouveau cours politique en France), *Wechselwirkung* [1982k].

Je suis intervenu à diverses occasions sur les problèmes posés par la technologie, notamment nucléaire, civile ou militaire :

- Eléments de réflexion sur le problème nucléaire, *Positions* (Bordeaux) [1979 m].

- Des coraux et des ombres, ou la banalisation de l'horreur (à propos de la bombe

[29] Ainsi que dans *Le Monde, L'Humanité, France Nouvelle*, etc. (dans les années 1970).

à neutrons*), La Pensée* [1982 n].

- Sur le mythe des experts, entrevue pour l'enquête de Anna Alter, « Nucléaire : la contestation démodée ? », *Science et vie* [1982o].

- Démocratie et technologie: sur un numéro spécial d'*Esprit*, *Politique aujourd'hui* [1984i].

J'ai pris position pour démystifier des syncrétismes para-scientifiques parfois en vogue :

- Court-circuits parascientifiques, *Raison Présente* [1980 g].

- Un héraut de l'anti-temps, ou le rebours de la méthode, *Revue de Synthèse* [1982d].

- Science et non-science : les nouveaux irrationalismes expliquent la science, *Universalia* [1982l].

J'ai contribué à diverses reprises à la réflexion sur des questions posées dans la société à propos des sciences, soit ponctuellement, soit de manière générale :

- Contribution au débat « Révolution et révolutions (industrielle, scientifique, technique) », *Spécial Options* [1986k].

- Science, culture, éthique et démocratie, *Cercle Condorcet* [1989l et m, 1992k].

- Interventions sur « *La science : menace ou menacée ?* » [1997u].

- La science a une dimension de pensée, et la liberté du scientifique c'est aussi la liberté de penser [1997v].

- Problèmes d'éthique et de science, *Raison présente* [1997i].

- Les discours sur les races et la science, *Passages*, et trad. portug. dans *Estudos Avançados* [1997j, 1998f].

- Neuf *aphorismes* sur le neuf, *Passage* [2000n].

- La science, cet obscur objet de la pensée et de l'utile, *L'aventure humaine*, et trad. portug. dans *Tempo Social* [1998f, 2000].

A ces thèmes se rattache la chronique que j'ai publiée pendant deux ans dans le magazine *Passages* (Paris) : « Chronique de Raymond la Science »:

- Chronique de Raymond la Science. 1. L'imagination sans limite, *Passages*, n°84, juin-juillet 1997, 27; 2. Sous le béton… le sable, *Passages*, n°85, août 1997, 59 ; 3. La vie sur Mars, *Passages*, n°86, octobre-novembre 1997, 8-9 ; 4. Dans les vents virtuels, *Passages*, n°87, décembre 1997-janvier 1998, 9-10 ; 5. Les bienfaits du tabac… transgénique, *Passages*, n°88, février-mars 1998, 13-17 ; 6. Le retour du docteur Cornelius et son clone, *Passages*, n°89, avril-mai 1998, 64-65 ; n°90, juin-juillet 1998, 63-65 ; 7. Le vaisseau Terre et la planète errante, *Passages*, n°91, été 1998, 64-65.

J'ai également organisé, en collaboration avec Emile Malet, deux ougrages collectifs sur ces thèmes : *Le droit à l'énergie* [1996b], et *Aux frontières de la science* [1999a].

II.4.4. (T) AUTRES TEXTES (ARTS ET LITTERATURE)

J'ai écrit quelques textes littéraires, soit de création, soit de réflexion sur la littérature et les arts. Parmi les premiers, les deux recueils de poèmes publiés suivants :

- *Rétiaire étiage*, poèmes, Millas Martin, Paris, 1973, 48 p.

- *Espaces où gravitent…*, poèmes, Editions de l'Athanor, Paris, 1975, 47 p.

D'autres sont restés inédits :

- *Greniers bohèmes*, 58 poèmes, 1957-1969, Bordeaux-Paris-Genève-Strasbourg, cahier manuscrit et dactylogr., 126 p.

- *La vie lapidaire*, poèmes, mscrit dactylogr., inédit, 1977, 46 p

- *Puzzle*, poèmes, 1977-1983, manuscrit dactyl. inédit, 65 p.

- *L'Arbre et les madrépores. Méditation*, poème en prose, 1980-1986, manuscrit dactylographié, inédit, 85 p.

- *Pense-bêtes d'ordinateurs, correspondances internautiques*. Textes de Michel Paty. Photos de Rachel Paty. Edition provisoire manuelle limitée à quelques exemplaires. St Julien Molin Molette, avril 2003, 32 p.

Quant aux textes de réflexion, ils ont été publiés dans des revues (*Art press international*, *Europe*, *Raison Présente*, *Passages*) ou dans des catalogues d'expositions :

- Dans cet éclairement de notre immersion…, *Art press international* [1979 n].

- René Char aux parages d'Alsace, *L'Humanité 7 jours d'Alsace et Lorraine*, 1977.

- Les rues et les ombres du poète au vin qui bout (sur un livre de poèmes d'Yves Martin), *Europe* [1981n].

- Les mots balisent l'espace, *La Pensée* [1982c] (sur un thème de science-fiction).

- As linhas do futuro e a inquietação da história (pour le catalogue d'exposition du peintre brésilien Mario Gruber) [1985s].

- Remarques en forme d'aphorismes sur l'exigence philosophique, *Raison présente* [1989o].

- Science, création et oeuvre d'art (pour le catalogue de l'exposition de Maria Kokkinou, *Les Physiciens*, Athènes, 1994) [1994g].

- A dança barroca dos signos das formas. A propósito das esculturas de Alfi Gristelli.- La danse baroque des signes des formes. Sur les sculptures d'Alfi Gristelli (pour le catalogue d'exposition) [1995p].

- La Bible entre Dieu et l'artiste (Sur les illustrations du *Pentateuque* par le graveur André Goezu), *Passages* [1997s].

- Surgis des entrailles du plan : mouvement, matière. Sur des œuvres récentes de Michelle de Launay, *Passages* [1999w].

- Apprentissage d'un regard pour le nouveau millénaire, *in An 2001. Les enjeux du XXI e siècle* [2001s].

- La science et l'imaginaire, ou l'invitation aux voyages de Jules Verne, *Revue Jules Verne*, n° 25, 1er semestre 2007, 67-77. [2007j].

Et un essai de traduction d'un poème du poète brésilien anti-esclavagiste du XIX ème siècle, Castro Alves :

- [2000r]. (Traduction). Voix de l'Afrique (Voz de Africa), de Castro Alves, traduit du Portugais (Brésil), annoncée pour paraître en 2008.

J'ai révisé des traductions, notamment :

- Révision de la traduction en français par Silvio Rosa Filho, *Wesley et les fondateurs de l'*Ecole Brésil, de l'original en portugais : Cláudia Valladão de Mattos, *Entre quadros e esculturas. Wesley e os fundadores da* Escola Brasil (texte trilingue, portugais, français, anglais), Discurso Editorial, São Paulo, 1997, 150 p. (p. 14-46, 51).

Addition, janvier 2008.

Plusieurs textes évoquent des circonstances de mon parcours personnel, ou des amis et collaborateurs :

- [2003d]. Campus sitiado. Le campus en état de siège. Scènes d'une saison à Brasília, juillet-décembre 1965, *in* Aldrovandi, Ruben ; Santoro, Alberto & Gago, José Mariano (eds.), *Roberto Salmeron Festschrift*; *A Master and a Friend*, AIAFEX, Rio de Janeiro (Br), 2003, p. 257-302.

- [2005n]. A reflexividade da ciência e o Brasil. A guise de agradecimento.

- [2006a] Temas de una trayectoria, Entrevista recojida por Germán Pino Guerrero (Diciembre de 2005).

- [2006i]. Sous le signe de la raison et de l'histoire humaine.

- [2008s]. A historia da ciência descubrindo o Brasil, Conferência-Depoimento.

(Fin de l'addition).

M.P., *Réunion à quatorze heures*, 1979.

III

ACTIVITES DE RECHERCHE ET D'ENSEIGNEMENT[30]

III.1. INTRODUCTION.

Sur la participation à l'organisation de la recherche, de l'enseignement et des activités connexes.

Depuis mon recrutement par le CNRS en 1966, j'ai toujours assumé, en plus de mes activités ordinaires de recherche et de direction de thèses, des responsabilités scientifiques et administratives (indiquées ci-dessous, en III.2.2).

Je m'en tiendrai, dans cette introduction, à quelques mots sur mon activité de directeur de l'équipe REHSEIS, de janvier 1993 à décembre 2000, qui a fait suite à d'autres responsabilités dans les périodes antérieures, dont une grande implication dans la fondation et l'animation de la même équipe et dans l'organisation du DEA et de la Formation doctorale en Epistémologie et Histoire des Sciences de l'Université Paris 7-Denis Diderot (voir III.2.2). Cette direction comprenait l'organisation de la vie scientifique de l'équipe, la coordination des diverses activités, chacune munie de son ou ses responsables propres, la contribution à la définition des thèmes de recherches et l'impulsion de ces derniers, la réunion plusieurs fois par an du conseil de laboratoire et du bureau, avec lesquels je préparais les réunions mensuelles de l'équipe et sa journée annuelle.

Les réunions mensuelles se tenaient le deuxième mardi du mois durant toute une matinée; les chercheurs y étant tenus informés de toutes les questions intéressant l'équipe, et les problèmes d'organisation et d'orientation y étant discutés, de façon à ce que les membres de l'équipe se sentent partie prenante des décisions et des activités de l'équipe en général. Une grande partie de la réunion consistait en un séminaire interne de nature scientifique. Des chercheurs, de l'équipe ou de l'extérieur, y introduisaient un thème de discussion sur des problèmes d'intérêt commun pour tous les membres de l'équipe, souvent de nature méthodologique, ou de caractère général pour favoriser les ouvertures de pensée. (Sur les contenus de ces séminaires internes je renvoie aux rapport d'activité de l'équipe pour la période : Rapports de l'équipe REHSEIS de 1998 et de 2000 ; pour ce dernier : [2000t]).

Des journées annuelles ont été tenues en fin d'année universitaire, complétant le séminaire interne en favorisant, par la confrontation des expériences des chercheurs, l'apparition de nouveaux thèmes ou la réorganisation des thèmes étudiés. (Elles sont également décrites dans les rapports de l'équipe).

---

[30] Mis à jour en janvier 2008.

Du point de vue scientifique, je me suis efforcé, dans mon travail de direction, d'affermir l'esprit d'information mutuelle et d'échange entre les chercheurs, pour dégager de nouvelles pistes de réflexion sur l'épistémologie et l'histoire des sciences à partir des travaux de recherche, et de contribuer, à partir de ceux-ci, à des essais de synthèse.

Je participais également, de façon plus spécifique, à plusieurs des activités de l'équipe (contribution à quelques uns des thèmes, participation à l'organisation de séminaires et d'autres activités particulières), comme je continue de le faire, redevenu simple chercheur. Les thèmes de réflexion particuliers que j'ai contribué à animer étaient les suivants : *Physique mathématique et théorique*, *Mécanique quantique et physique contemporaine*, *Philosophie des sciences*. J'ai participé également aux recherches et aux réflexions de la ligne d'activité *Science et Empire*, à laquelle une partie de mes travaux, surtout du thème N, du présent rapport est liée à l'origine (voir II.3.12, et aussi en partie II.3.13, pour le thème O, ainsi que II.4.3, pour le thème S).

Le lien entre l'enseignement et la recherche a constitué l'une de mes préoccupations constantes, notamment la formation à la recherche des doctorants, formés pour la plupart par le DEA, et dont l'équipe REHSEIS constitue, avec le centre d'Histoire des sciences et de la philosophie arabes et médiévales, l'une des équipes d'accueil. Les résultats obtenus par ces jeunes chercheurs, dans leurs thèses, leurs travaux de recherche et même dans leurs recrutements (dans une discipline pauvre en postes) ont justifié ce souci, qui était dès le début affirmé par les fondateurs de l'entreprise (Equipe et DEA[31]), pour assurer continuité et renouvellement.

J'ai porté également une attention particulière aux collaborations internationales, avec un intérêt spécial aux pays en voie de développelment (d'Amérique latine notamment[32]). Une sorte de courant de pensée se forme ainsi, incluant les chercheurs de ces pays qui se sont formés dans le DEA et dans l'équipe, et qui à leur tour enseignent et animent des recherches. Réciproquement, les échanges avec les collègues venus de l'extérieur et qui ont séjourné dans l'équipe ont été extrêmement enrichissants et l'on peut assurer que l'« esprit » qui constitue la marque de l'équipe (comme exigence intellectuelle et attitude d'ouverture aux différences), en a grandement bénéficié.

III.2. ACTIVITES ET FONCTIONS

III.2.1 DIPLOMES, TITRES, DISTINCTIONS, APPARTENANCE A DES SOCIETES SAVANTES

Diplômes

- Licence ès-sciences Mathématiques, Université de Bordeaux, 1959.

---

[31] Roshdi Rashed, Christian Houzel et moi-même (voir II.1.2 et II.3.1).

[32] Voir les enseignants-chercheurs qui ont séjourné dans l'équipe à mon invitation (III.5.1.b), et les thèses de doctorants étrangers que j'ai dirigées, en France ainsi qu'à l'extérieur, en (III.4.3).

- Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) en Physique corpusculaire et théorique, Université de Bordeaux, 1960.

- Doctorat en Physique corpusculaire et théorique, Université de Bordeaux, 1962 (TH).

- Doctorat d'Etat ès-Sciences physiques, Université de Paris-Orsay, 1965 (TH).

- Licence et Maîtrise en Philosophie, Université des Sciences Humaines-Strasbourg-2, 1969 et 1971.

- Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) en Philosophie, Univ. des Sciences Humaines-Strasbourg-2, 1972 (TB).

- Doctorat en philosophie, Univ. des Sciences Humaines-Strasbourg-2, 1977 (TH).

Appartenance à des sociétés savantes

- *Société Française de Physique* (depuis 1976).
- *Société Française d'Etudes du Dix-huitième siècle* (1978-1995).
- *Sociedade Brasileira de Física* (1982-1985).
- *Société Française de Philosophie* (membre correspondant, 1980-).
- *Sociedade Brasileira de Historia da Ciência* (membre fondateur, 1982-1997).
- *Société Diderot* (1986-1995).
- *Association des Ecrivains Scientifiques de France* (1987-1992).
- *Association Internationale pour les Sciences et la diversité culturelle.- International Association for Science and Cultural Diversity*, IASCUD (Commission de l'Union Internationale d'Histoire et de Philosophie des Sciences.) (2000-).

Distinctions

- *Prix de l'Académie des Sciences*, Paris (Prix Grammaticakis-Neumann, 1986, pour les travaux « en épistémologie et histoire de la physique contemporaine »).

- *Prix de l'Académie des Sciences Morales et Politiques*, Paris (Prix de la Fondation Gégner, 1989, pour le livre *La matière dérobée*).

- Membre du *Comité National Français d'Histoire et de Philosophie des Sciences* [33] (élu en janvier 2001).

- *Directeur de recherche émérite au CNRS* (nommé en septembre 2003-).

- *Membre correspondant de l'Académie Internationale d'Histoire des Sciences* (élu en décembre 2005).

- *Miembro correspondiente estranjeiro de la Academia Colombiana de Ciencias Exatas, Fisicas y Naturales* (élu en mars 2006). La séance de réception (« posesión ») a eu lieu au siège de l 'Académie, à Bogotá (Colombie), le 7

[33] De l'Union Internationale d'Histoire et de Philosophie des Sciences.

novembre 2007 ; j'ai prononcé la conférence : « Construcción de objecto y objectividad en fisica cuantica », à paraître dans les *Annales* de l'Académie.

- *Membro correspondente estrangeiro da Academia Brasileira de Filosofia* (élu en avril 2006).

Hommages reçus. Etudes sur les travaux et réalisations.

- Hommage du premier numéro de la Revue *Scientiae Studia* (USP, São Paulo, Br), vol. 1, n°1, janeiro-março 2003 (voir l'éditorial, p. 7, reproduit en Annexe E).

- Colloque : *Filosofia, Ciências, História. Um colóquio dedicado a Michel Paty por ocasião dos 40 anos de sua colaboração com o Brasil*, Instituto de Estudos Avançados (IEA) da Universidade de São Paulo (USP), 24 de novembro de 2003 (voir le programme en Annexe F).

- Livre : FREIRE, Olival & PIETROCOLA, Mauricio (eds.) [2005]. *Filosofia, Ciências e História. Dedicado a Michel Paty por ocasião dos 40 anos de sua colaboração com o Brasil*), Discurso Editorial, São Paulo, 2006. [34]

- Film-Documentaire DVD : FREIRE, Vitor [2007]. *Michel Paty e o Brasil* (*Michel Paty et le Brésil*) (Brasil, 2007 ; Realização e edição de Vitor Freire ; Video-Documentário (DVD-R NTSC ; Côres. ; 56 mn ; 3,34 Go ; Com os participantes do colóquio « *Michel Paty e o Brasil* », São Paulo, sept. 2003 ; extr. de exposições, entrevistas ou intervenções de : José Leite Lopes, Amélia Hamburger, Clodomiro Pavan, Oswaldo Porchat, Roberto Salmeron, Fernando Souza Barros, Rémy Lestienne, Newton da Costa, Maria Laura M. Leite Lopes, Marilena Chaui, Olival Freire Jr, Michel Paty ; fotografias da sequência final tiradas dos arquivos de M. Paty). Sao Paulo, Br, août 2007.

- *Colloque* « *Michel Paty, philosophe et historien des sciences* », Département de Philosophie, Faculté des Sciences Humaines, Université de Tunis, 22-24 novembre 2007 (les Actes seront publiés en livre en 2008).

III.2. 2 FONCTIONS ET RESPONSABILITES

- *Boursier de 3ème cycle* de l'Enseignement supérieur, Bordeaux, 1959-1961.

- *Physicien* au laboratoire de physique de l'*Ecole Polytechnique et du Collège de France (laboratoire Leprince-Ringuet),* Paris, 1961-1962.

- *Physicien au CERN* (Centre Européen de Recherches Nucléaires), Genève,

---

[34] Il s'agit des *Actes du Colloque* réalisé en septembre 2003 à l'Université de São Paulo (Brésil, : *Colóquio Filosofia, Ciências e História : Um colóquio dedicado a Michel Paty por ocasião dos 40 anos de sua colaboração com o Brasil*, 24 novembre 2003, Instituto de Estudos Avançados (IEA) da Universidade de São Paulo (USP). Ce Colloque comptait avec la participation de : Olival Freire et Maurico Pietrocola (organisateurs), José Leite Lopes, Roberto Salmeron, Fernando Souza Barros, Maria Laura Mouzinho Leite Lopes, Susana Soura Barros, Amelia Hamburger, Maria Amelia Dantes, Heloisa Bertol Domingues, Samuel Simon, Pablo Mariconda, Oswaldo Pessoa, Newton da Costa, Decio Krause, Antonio Doria, Alberto Cupani, Luis Henrique Dutra, Silvio Chibeni, Lelita Benoit, Wilton Barroso, Gérard Grimberg, Tatiana Roque,

1962-1965.

- *Professeur-assistant* à l'*Université de Brasilia* puis au *Centre Brésilien de Recherches Physiques, Rio de Janeiro* (Coopération culturelle et technique de la France avec le Brésil), 1965-1966.

- *Chercheur au C.N.R.S.*, et *responsable d'un groupe de recherche* en physique des particules élémentaires (Groupe de « Chambre à bulles à liquide lourd », 15 chercheurs, 30 techniciens), *Centre de Recherches Nucléaires et Université Louis Pasteur, Strasbourg*, 1966-1983. Affecté au Centre de Recherches Nucléaires, Strasbourg, 1966-1985. Rattaché à la Section de Physique Nucléaire et Corpusculaire du CNRS, 1966-1991 : Ingénieur de recherche, 1966-1968 ; Chargé de recherche, 1968-1974 ; Maître de recherche, 1974-1984 (appellation changée par les statuts en Directeur de recherche de 2e classe en 1984) ; titularisé fonctionnaire, Directeur de recherche de 2e classe, à compter du 1.1.1984.

- *Sous-directeur du Centre de Recherches Nucléaires, Strasbourg*, 1973 et 1974 (premier responsable de la nouvelle Division des hautes énergies).

- *Attaché scientifique* non rémunéré au CERN (Organisation Européenne pour la - Recherche Nucléaire), 1977-1978.

- *Responsable d'enseignements* complémentaires à l'*Université Louis Pasteur, Strasbourg* : au DEUG (histoire de la physique, 1971-1980) et au DEA (physique des particules, 1968-1983).

- *Co-Responsable* (avec H. Barreau et J. Leite Lopes) du *Séminaire sur les fondements des sciences de l'Université Louis Pasteur, Strabourg-1* (1971-1980).

- *Co-fondateur* (avec C. Houzel et R. Rashed) *de l'Equipe REHSEIS* (Recherches épistémologiques et historiques sur les sciences exactes et les institutions scientifiques, UPR 318 du *CNRS*) en 1983. Animateur de l'équipe notamment pour la partie Epistémologie et Histoire de la Physique. *Sous-directeur* de l'équipe (1985-1993). *Responsable de l'équipe pour l'Université Paris 7* (1983-1997).

- *Co-fondateur* (avec C. Houzel, R. Rashed et F. Balibar), et *responsable, pour l'Université Paris 7*, du *DEA d'Epistémologie et Histoire des Sciences* des Universités Paris 7 et Paris 13 (1985-1992). *Membre de la direction* du DEA d'Epistémologie et Histoire des Sciences de l'Université Paris 7-Denis Diderot (1985-2000).

- *Chercheur au C.N.R.S.*, Directeur de recherche de 2e classe, rattaché à la Section de « Physique Corpusculaire », affecté à l'Equipe REHSEIS (ci-dessus), Paris, 1985-1991. Rattaché à la Section « Pensée philosophique, science des textes, création artistique, scientifique et technique », en 1991. Directeur de recherche de 2e classe, 1991-1994 ; Directeur de recherche de 1e classe, 1994-2003.

- *Professeur au Departamento de Filosofia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas de l'Université de São Paulo* (USP, Brésil). (En congé du CNRS, et sur poste budgétaire du Ministère français des Affaires étrangères, de mars 1989 à février 1991).

- *Chercheur associé* au programme de recherche « sciences et technologie » de l'*Instituto de Estudos Avançados* (IEA) de l'Université de São Paulo (Brésil).

(1989-1990). Responsable du séminaire de philosophie des sciences conjoint avec le Département de philosophie de l'USP, cycle "Ciencia e filosofia" (1990).

- *Directeur de l'équipe REHSEIS* (Recherches épistémologiques et historiques sur les sciences exactes et les institutions scientifiques), UPR 318 du CNRS, puis UMR 7596, *CNRS et Université Paris 7-Denis Diderot*, janvier 1993-décembre 2000.

- *Directeur de recherche émérite au CNRS* (à compter du 1er septembre 2003), Affecté à l'Equipe REHSEIS.

- *Professeur visiteur (« Professor visitante »), Departamento de Filosofia de l'Université de São Paulo* (USP), São Paulo (Brésil), juillet 2004-juillet 2006 (j'ai été élu à ce poste par l'ensemble de la faculdade de Filosofia, Letras e Ciencias Humanas). (Le Consulat de France à São Paulo m'a considéré, pendant la période 2005-2006, comme le titulaire de *la Chaire Franco-brésilienne de Philosophie des Sciences* de l'USP qui était en train de se mettre en place et dont je devais être le premier titulaire (sa création, toujours programmée, n'était pas encore effective en août 2007).

- *Professeur invité* (*« Professor visitante »*) au même Département, avec le soutien de la FAPESP, juillet-septembre 2007.

III.2.3. AUTRES RESPONSABILITES: CONSEILS SCIENTIFIQUES, COMMISSIONS, ETC.

- *Président* de la *Section 06* (Physique Nucléaire et Corpusculaire) du *Comité National du CNRS* (sept. 1980- fev. 1983) (membre élu).

- *Membre* du *Conseil scientifique de l'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules (IN2P3)* (sept. 1980-fév.1983), du *Conseil d'administration de l'IN2P3* (oct.1980-mai 1983), du *Comité sectoriel Mathématique-Physique de base du CNRS* (1981-1982).

- *Membre* des *Conseils scientifiques de la Division des Hautes Energies* (CRN, Strasbourg), et du *Centre de Recherches Nucléaires* (CRN : CNRS et Université Louis Pasteur, Strasbourg-I) (1973-1982).

- *Membre* du bureau du *Conseil du Département de physique de l'Université Louis Pasteur*, Strasbourg-I (1980-1981).

- *Membre* du bureau de la section locale (Strasbourg) de la *Société Française de Physique* (1975-1982).

- *Membre* du *Comité d'organisation de l'Ecole d'été de physique des particules de Gif-sur-Yvette* (1970-1980).

- *Représentant français* au *Comité consultatif sur l'histoire du CERN* (Genève), de 1982 à 1988.

- *Membre* (nommé) de la *72ème section (Epistémologie, Histoire des Sciences) du Conseil Supérieur des Universités* (C.S.U.), 1983-1986 (Président de jury du CSU, 1986). Membre (nommé) du *Conseil National des Universités* (*CNU*) : 1994-1995.

- *Membre* de la *Commission supérieure des monuments historiques*, quatrième section, Patrimoine industriel, scientifique et technique (1986-1989).

- *Membre* du *Conseil scientifique du Département GHSS* (Géographie, Histoire, Sciences Sociales) de l'Université Paris 7 (1987-2000).

- *Membre* de la *Commission de spécialistes* (section 72 du CSU, Epistémologie et histoire des sciences) de l'*Université Paris 7 D.Diderot* (1989-1995). Président de la Commission (1992-1995). Membre de la Commission de spécialistes (sections 17 + 72 du CSU, Philosophie, Epistémologie et histoire des sciences) de l'Université Paris 7- D.Diderot (1995-1997) ; membre et vice-président, *id.* (1997-2001) ; membre de la même (2001-), et président (juin 2002-août 2003).

- *Membre* de la *Commission de spécialistes* (sections 70-71-72 du CSU) de l'*Université Paris 11-Orsay* (1992-1995 ; 1995-1997 ; fév. 1998-2000 ; 2001-2003).

- *Membre* du *Comité scientifique du Projet d'édition des Oeuvres complètes de d'Alembert* (GdR du CNRS), Paris, 1990-1996.

- *Membre* du *Conselho científico da Catédra Mario Schenberg, Instituto de Estudos Avançados, Universidade de São Paulo* (Brésil), 1997-2003.

- *Membre* du *Conseil scientifique du Centro Interuniversitario di Ricerca in Filosofia e Fondamenti della Fisica (Università Degli Studi, Bologna-Urbino, Italie)*, 1995-.

- *Membre* du *Comité Consultatif du Conseil Scientifique de l'Ecole Doctorale «Savoirs scientifiques : Epistémologie, Histoire des Sciences, Didactique des Disciplines »*, *Université Paris-7 Denis Diderot*, sept. 2001-août 2003.

III.2.4. COMITES DE REDACTION

- *Membre* des Comités de rédaction des revues *L'Argonaute* (revue de vulgarisation pour les jeunes), dans les années 1980 ; *Politique aujourd'hui* (1985-1989), *La Pensée* (Paris, 1976-2006), *Passages* (Paris, 1997-2006) ; du comité de lecture des revues *Actuel Marx* (1985-1992) ; *Didaskalia (Recherches sur la communication et l'apprentissage des sciences et des techniques*, 1993-1998).

- *Membre* des Comités de rédaction des revues *Discurso* (Philosophie, São Paulo, Br., 1990-), *Principia* (Epistémologie, Florianopolis, Br., 1997-), *Quipu* (Rev. Lat.-Améric. d'Histoire des sciences, México, Mex., 1995-), *Mâat* (Revue philosophique africaine, Douala, Cam., 1997-), *Philosophia Scientiæ* (Nancy, 1998-), *Scientiae Studia* (Depto Fil., USP, São Paulo, Brésil, 2003-). Membre du Comité de lecture de *La Revue d'Histoire du CNRS* (Paris, 1999-). Membre du Comité éditorial de la revue électronique *CLE e-Prints* (Centro de Lógica e História da Ciência, Campinas, Brésil, 2002-).

III.2.5. FONDATION ET DIRECTION DE REVUES ET DE COLLECTIONS.

- *Responsable* (fondateur) de la publication des *Cahiers Fundamenta Scientiæ* (CRN-ULP, Strasbourg) (100 numéros parus, 1972-1980).

- *Co-Rédacteur en chef* (fondateur), avec Baudouin Jurdant, de la revue

internationale *Fundamenta Scientiæ* (ULP, Strasbourg/Pergamon Press, Oxford, UK puis Nova Stella, São Paulo, Br) (10 volumes parus soit 40 numéros, 1979-1989).

- *Directeur* de la *Collection « Comprendre »* aux *éditions Syros* (Paris, 1993-1995) : 7 livres parus.

- *Co-Rédacteur en chef* (fondateur), avec Pablo Mariconda et Jean-Jacques Szczeciniarz, de la revue internationale *Epistémologiques (Philosophie, sciences, histoire.- Philosophy, science, history* (UP7/USP, EDP-Sciences, Paris/Discurso, São Paulo), (2000-2004).

- *Co-Directeur*, avec Jean-Jacques Sczeziniarz, de la *Collection « Penser avec les sciences »*, EDP-Sciences, Paris-Les Ulis (2001-).

III.2.6. PARTICIPATION A DES GROUPES DE TRAVAIL ET COLLABORATIONS

- *Responsable français* de l'*Accord de Coopération CNRS-CNPq* en histoire des sciences entre l'Université Paris-7-Denis Diderot et l'Université de São Paulo (Brésil), 1986-1989.

- *Responsable français* de l'*Accord de Coopération CAPES-COFECUB* en philosophie des sciences entre l'Université Paris-7-Denis Diderot et l'Université de São Paulo (Brésil), 1992-1996.

- Membre du *Comité pour l'édition des Œuvres complètes et la recherche sur d'Alembert et son temps* (GDR, Groupement De Recherches, du CNRS, n°1044), 1992-1996.

- Collaborateur du *Groupe de travail pour l'édition des Oeuvres de d'Alembert*, 1991-. (Co-responsabilité de *Jean d'Alembert, Oeuvres*, vols 2 et 3*: Mécanique des solides et des fluides, 1741-1752,* édition critique, avec Gérard Grimberg et al.).

- Membre du *Comité éditorial de l'édition critique de la correspondance de Henri Poincaré*, Centre d'Etudes et de recherches et Archives Henri Poincaré de l'Université de Nancy-2, 1994-2001.

- Membre fondateur du *Centre d'Etude et de Synthèse pour une Epistémologie Formalisée (CESEF)*, Paris, 1994-.

- Projet de *GdR du CNRS*, en collaboration avec plusieurs équipes et laboratoires, pour une recherche sur *Les débuts de la physique nucléaire expérimentale et théorique en France*, déposé en mai 1995. Responsable du projet (avec Martha-Cecila Bustamante). Projet avorté pour dysfonctionnement administratif, malgré une production conséquente (voir rapport remis en octobre 2000), 1995-2000.

- *Responsable* français de la *Collaboration Ecos-Nord franco-colombienne en histoire des sciences* entre l'équipe REHSEIS (Univ. Paris 7-D. Diderot) et le Departamiento de Didatica y Historia de las Ciencias Matematicas y Fisicas, (Universidad del Valle), Programme Ecos-Nord France-Colombie n° 97-PC08 : *Formation et développement de la culture scientifique en Colombie. Les mathématiques et la physique (1880-1940)*, 1997-2001.

- Membre du *Comité de Coordination* (Coordination Committee) du *Réseau Scientifique de la Fondation Européenne pour la Science* (European Science Foundation Scientific Network) « Historical and Contemporary Perspectives of Philosophy of Science in Europe » (2000-).

- *Responsable* français du Projet de *Collaboration Ecos-Nord franco-mexicano--colombienne en histoire des sciences* entre l'Equipe REHSEIS (Univ. Paris 7-D. Diderot), le Departamiento de Matemáticas de l'UNAM (México, Mex.) et le Departamiento de Didatica y Historia de las Ciencias Matematicas y Fisicas (Universidad del Valle, Cali,Col.), sur le thème : *Contenus conceptuels et transmission des mathématiques et de la physique (18e, 19e et 20e siècles)*, 2003. Après août 2003, je suis simple collaborateur et conseiller de ce projet.

- *Membre* du *Grupo Tematico « Filosofia, Epistemologia e História da Ciência »*, Departamento de Filosofia, FFLCH, Universidade de São Paulo (2004-2006).

- Membre de l'*Associação Scientiae Studia* (autour de la revue de même nom), Universidade de São Paulol (Br.), 2003.

- Membro (e Vice-Presidente para Relações Internacionais) da *Comissão de São Paulo do IBECC (Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura)*, Brasil-UNESCO (sept. 2005-sept. 2007).

- Participation & co-direction du *Projet de Collaboration Internationale Franco-Brésilienne* : *L'Approche qualitative en sciences exactes. A aproximção qualitativa em ciências exata*s (co-responsable avec Pablo Mariconda & Tatiana Roque). (Voir le programme du Collège International de Philosophie en 2006).

III.2.7. EDITION CRITIQUE DE TEXTES SCIENTIFIQUES

- *Edition des Oeuvres de d'Alembert*. Co-responsabilité de volumes des premiers travaux en dynamique et hydrodynamique (comprenant les premiers écrits inédits d'hydrodynamique, le *Traité de dynamique* (1743; ré-éd. augm., 1758), et de l'*Essai d'une nouvelle théorie de la résistance des fluides* de 1752, avec sa première version latine inédite, soumise à l'Académie de Berlin en 1749 (*Theoria resistenciae quam patitur corpus in fluido motum*).

- Edition de recueils de *Textes scientifiques et épistémologiques de Paul Langevin* sur la relativité et la théorie quantique (Collection « Penser avec les sciences », EDP-Sciences, projet avec Olival Freire.

III.3. ORGANISATION DE SEMINAIRES ET DE COLLOQUES

III.3.1. ORGANISATION DE SEMINAIRES REGULIERS

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

- *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 (orgaanisation et animation avec H. Barreau et J. Leite Lopes).

- *Séminaires généraux internes de l'équipe REHSEIS* (CNRS, Paris), de 1984 à 1989 (avec C. Houzel et R. Rashed), 1991-1992.

- *Séminaires d'Epistémologie et d'histoire de la physique de l'équipe REHSEIS* (CNRS, Paris et Université PARIS 7), de 1984 à 1989, puis 1991-1998 (avec C. Comte, O. Darrigol, C. Vilain).

- *DEA d'Epistémologie et d'histoire des sciences*, Universités Paris 7 et Paris 13. Direction du DEA pour l'Université Paris 7, 1985-19 ??. Co-organisation de l'ensemble des cours (375 h. annuelles), et responsabilité du cours de « Méthodes d'épistémologie et d'histoire des sciences » (50 h. annuelles), 1985-1993.

- *Séminaire de philosophie des sciences* conjoint entre l'Instituto de Estudos Avançados (IEA) et le Département de philosophie de l'université de Sao Paulo (USP, Brésil), mai-déc. 1990 (cycle sur le sujet "Ciencia e filosofia").

- *Séminaires généraux internes de l'équipe REHSEIS* (CNRS, Univ. Paris 7 D. Diderot, Paris), 1993-2000.

- *Séminaire du Groupe Physico-mathématique*, *Equipe REHSEIS* (CNRS, Univ. Paris 7 D. Diderot, Paris), 1997-2002 (avec Sara Franceschelli et Kenneth Simonsen, puis avec Christophe Salini).

- *Séminaire de Philosophie et Méthodes*, *Equipe REHSEIS* (CNRS, Univ. Paris 7 D. Diderot, Paris), 1997-2002 (avec Jean-Jacques Szczeciniarz).

- Séminaire *Energie, science et philosophie au tournant 19e-20e siècle*, *Equipe REHSEIS* (CNRS, Univ. Paris 7 D. Diderot, Paris), 2004-2006 (avec Danièle Ghesquier-Pourcin, Muriel Guedj, Gabriel Gohau, Michel Paty).

- Co-organisation (Danièle Ghesquier, Muriel Guedj, Gabriel Gohau, Michel Paty) du *Séminaire Energie, science et philosophie au tournant 19e-20e siècle*, Equipe Rehseis, Paris, 2004-2007. (Participation surtout au début et à la fin du programme).

- Séminaires de la *Chaire Franco-Brésilienne de Philosophie du Departamento de Filosofia de l'Universidade de São Paulo* (projet non abouti) : invitation de chercheurs de France par le Departamento de Filosofia de l'USP, avec l'appui de Consulat de France à São Paulo (2005-2006).

III.3.2. 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).

- *Symposium sur l'histoire du rôle de la science dans les relations scientifiques entre le Brésil et la France - Simposio sobre a Historia do papel de ciencia nas relaçoes Brasil e França,* Universidade de Sao Paulo, USP, Sao Paulo, Brésil, *15-18 septembre 1987*. (Co-Organisation avec M.A. Dantes, A. Hamburger et P. Petitjean. Présentation, conclusion, table-ronde, communication).

- *Colloque Condorcet*, Ancienne Ecole Polytechnique, Paris, 8-11 juin 1988. (Membre du Comité d'organisation. Allocution d'ouverture).

- *Physique et géométrie*, *Journée REHSEIS*, Equipe REHSEIS (CNRS), Paris, 9 janvier 1990. (organisation, exposé : Interprétation et construction dans le rapport des mathématiques à la physique, cf. [1989g]).

- *Colloque international « Sciences et empires. Histoire comparative des échanges scientifiques : expansion européenne et dévelopement scientifique des pays d'Asie, d'Afrique, d'Amérique et d'Océanie »* [Equipe REHSEIS du CNRS, sous le patronage de l'UNESCO, sous le haut patronage du président de la République, UNESCO, Paris, 3-6 avril 1990 ; membre du comité d'organisation ; communication : Les débuts de la physique mathématique et théorique au Brésil et l'influence de la tradition française, cf. [1992a] ; rapport de synthèse].

- *Journées annuelles de l'Equipe REHSEIS*, CNRS, Paris (Organisation) : , juin 1993 ; 28 juin 1994 ; juin 1996 ; juin 1997 ; juin 1998 ; septembre 1999.

- *Journée d'études sur « Les rapports entre philosophie des sciences et histoire des siences : Découverte et nouveauté »*, Equipe REHSEIS, CNRS, Paris, 28 juin 1995. (Organisation avec Alberto Cupani et Jean-Jacques Szceziniarz. Exposé : Le nouveau dans la découverte, identification et réception).

- *Colloque « Langevin, son oeuvre et sa pensée »* (Equipe REHSEIS, ESPCI et Univ. Paris-X Paris, 1997. (Co-organisation avec Bernadette Bensaude-Vincent, Martha-Cecilia Bustamante, Olival Freire, cf. [2002a] ; conférence : Poincaré, Langevin, Einstein, cf. [2002c] ; Intervention dans les discussions).

- *Colloque Les pratiques socio-économiques et politiques face aux enjeux de la science. La fin de la culture ?*, Colloque de l'ADAPES, Palais du Luxembourg, Paris, 17 mars 1998. (Co-organisation avec Emile Malet, cf. [1999a] ; Animation d'une table-ronde ; Exposé d'introduction au Colloque, cf. [1999q] ; Exposé sur : Vérité scentifique et opinion. La question du raccord au sens commun, cf. [1999p]).

- *Journée d'Alembert*, *Département de philosophie, Université de Paris X-Nanterre*, vendredi 29 janvier 1999. (Exposé : D'Alembert, la science newtonienne et l'héritage cartésien, cf. [2001e] ; Co-organisation avec Francine Markovits).

- *Journée d'Alembert*, *Département de philosophie, Université Michel de Montaigne*, *Bordeaux*-3, mardi 16 février 1999. (Exposé : Newton et Descartes dans D'Alembert, cf. [2001e] ; Co-organisation avec Jean-Jacques Szczeciniarz).

- *Journées sur « L'épistémologie des systèmes dynamiques »* (Equipe REHSEIS et Università di Bologna), Ecole Nationale Supérieure de Physique et Chimie, Paris, 25-26 novembre 1999 (Co-organisation avec Sara Franceschelli et Tatiana Roque, cf. [à paraître,H] ; Conférence : Grandeurs physiques et systèmes dynamiques, le 26.11, cf. [à paraître, c]).

- *Journée de fin d'année universitaire de l'Equipe REHSEIS*, Paris, 28 juin 2000 (Organisation et présentation).

- *Journées d'Epistémologie*, Institut Henri Poincaré, Paris, 5-6 décembre 2000 (Co-organisation avec Roshdi Rashed et Michel Serfati). (Conférence : Les systèmes quantiques sont-ils des objets physiques ayant des propriétés ?, le 5 déc.).

- *Demi-journée « Objectivité et constructivisme : antagonisme ou complémentarité ? Regards croisés sur les usages et les raisons des approches constructivistes et objectivistes en sciences humaines et naturelles »*, GEMAS, IDHE-Cachan GEMAS, REHSEIS, Université Paris 7-D.Diderot, Paris, 22 mai 2001 (Co-organisation avec Erwan Lamy et Terry Shinn ; Exposé : « Construction d'objet » et objectivité en physique quantique, cf. [à paraître,i]).

- *Symposium thématique S23*, *« Changes in interpretation and conceptual contents. Changements dans l'interprétation et contenus conceptuels »*, XXI International Congress of History of Science / Xxiè Congrès International d'Histoire des Sciences, Mexico, 8-14 juillet 2001 (Co-organisation avec Claude Debru, cf. [2003b] ; Présentation, cf. [2003o] ; Exposé, le 11.7 : The problem of the interpretation of physical magnitudes and the intelligibility of the quantum world, cf. [2003l]).

- *Journée d'études « Rapports entre le local et le global, le microscopique et le macroscopique ; les relations d'échelle »*, Ecole Doctorale « Savoirs scientifiques », Université Paris 7 Denis Diderot, Paris, 12 mars 2003. (Co-organisation avec Michèle Artigue, cf. [à paraître,I]). (Présentation ; Exposé : Pensée cosmologique et physique de l'élémentaire, cf. [à paraître,gg]).

- Table-ronde *« Interactions entre sciences, politique et institutions au sortir de la 2e guerre mondiale »*, avec Michel Paty, Heloisa Bertol Domingues, Olival Freire Jr, Pascal Crozet, Afrânio Garcia et Patrick Petitjean, Rehseis, Université Paris 7-D. Diderot, 26 février 2004. (Co-organisation avec Patrick Petitjean; Présentation et interventions).

III.4. ENSEIGNEMENT ET FORMATION DE CHERCHEURS

III.4.1. ENSEIGNEMENTS

J'ai enseigné la *physique des particules élémentaires et la physique nucléaire* dans les matières et les institutions suivantes:

- *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 4e année de graduação), 3 h. hebd., 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. hebd.).

- *Partículas elementares*: *Introdução* (en portugais) (Cours de 4 ème année de Graduação), Instituto de Fisica, Universidade de Brasília (Brésil), 2 h. hebd., juillet-oct. 1965.

- *Particulas elementares : resonâncias* (en portugais) (Cours de pós-grad.), 1 h. hebd., Centro Brasileiro de Pesquisas Fisicas, Rio de Janeiro (Brésil), février-juin 1966.

- *Equations d'onde relativistes*, Cours de DEA [35] de Physique Corpusculaire, Centre de Recherches Nuclaires, 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 Fisica, Universidade de São 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.

J'ai enseigné la *philosophie, l'épistémologie et l'histoire des sciences*, dans les matières et les institutions suivantes :

- *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.

---

[35] 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 II[36] (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 professeurs 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 (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, 19 et 26 février, 26 mars 1981.

- *Historia e filosofia da ciência contemporanea* (en portugais), Cours de pos-graduação, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, Brésil (7 x 4 h), août-sept. 1982.

- *A epistemologia de físicos-filósofos* (en portugais) (Cours de pos-graduação), Instituto de Física, Universidade de São Paulo (Brésil) (7 x 4 h), août 1985.

- *L'objet de la relativité restreinte: un problème d'épistémologie et d'histoire des sciences* (cours de DEA d'Epistémologie et d'histoire des sciences), Université Paris 7 (12 h) 1985-86, 1986-87, 1987-88, 1988-1989.

- *La philosophie des savants-philosophes* (cours de DEA d'Epistémologie et d'histoire des sciences), 6 h., Université Paris 7, février-mai 1986.

- *Le débat sur l'interprétation de la mécanique quantique* (cours de DEA d'Epistémologie et d'histoire des sciences), 12 h., Université Paris 7, avril-mai 1986 ; janvier-mars 1987 ; *ibid.*, 4 h., mars 1988.

- *Elementos de historia da teoria da relatividade* (en portugais), Cours de pós-graduação, 12 h., Departamento de Física (avec ceux de Filosofía, de História), Universidade de São Paulo, nov.-déc. 1986.

- *Stages de formation continue de professeurs de philosophie*, Rectorat de l'Académie de Grenoble, CRDP (Animation avec Mme Martine Verlhac, et conférences) : *La question du déterminisme*, 11 et 12 décembre 1986 ; (avec M. Lambert et Martine Verlhac-Revol) : *Théorie et expérience dans les sciences,* 10-

[36] Aujourd'hui Université Marc Bloch (Strasbourg II).

11 mars 1988 (Exposé : Peut-on parler de sciences empiriques ?)

- *Ciência, filosofia e historia : da* Encyclopédie *à Revolução francesa* (en portugais). Cours de pos-graduaçao, Instituto de Fisica, Universidade de São Paulo (U.S.P.), 8h, 9.-18 août 1988.

- *Ciencia e filosofia no século das luzes* (en Portugais), Cours de Pós-graduação, Departamento de filosofia, FFLCH, Universidade de Sao Paulo (Brésil), 48 h., août-décembre 1989.

- *Filosofía e metodologia da ciência*, Cours, Semana de Bio-estudos-89, Departamento de Biologia, Faculdade de Filosofia, Ciencias e Letras, Universidade de São Paulo em Ribeirao Preto (Brésil), 4 h., le 16.10.1989.

- *Comunicação da atividade cientifica entre os especialistas*, Cours, Escola de Comunicaçao e Arte, Universidade de Sao Paulo (Brésil), 24 octobre 1989.

- *Filosofia e historia da ciência moderna e contemporanea* (en portugais), Cours de graduação, Departamento de filosofia, FFLCH, Universidade de Sao Paulo (Brésil), 2 x 48 h. de cours, mars-juillet 1990.

- *Physique et géométrie* (cours de DEA d'Epistémologie et d'histoire des sciences), 6 h., Université Paris 7, janvier-février 1990.

- *Ciência e Filosofia : os problemas da Fisica contemporânea (relatividade e quanta)* (en portugais), Cours de pós-graduação, Departamento de filosofia, FFLCH, Universidade de São Paulo, août-décembre 1990 (48 h. de cours).

- *Physique et géométrie (géométries non-euclidiennes et Relativité générale). Problèmes de méthodes d'épistémologie et d'histoire des sciences*. Cours de DEA d'Epistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7, 12 h.: janvier-mars 1992; février-mars 1993.

- *Histoire de la mécanique classique aux dix-huitième et dix-neuvième siècles*. Cours de DEA d'Epistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7: 18 h., 2 février-6 avril, mai 1993.

- *Historia y epistemologia de la fisica contemporanea* (en espagnol), Cours au Centro Internacional de Fisica, Bogotà (Colombie), 14-23 avril 1993. [Autres professeurs: M.C. Bustamente, O. Darrigol, G. Batimelli et A. de Greiff]. Mes 4 conférences ont porté sur: Lorentz, Poincaré, Einstein y la invención de la Relatividad restringida (le 15.4), Fisica y geométria: geometria no euclidea y Relatividad general (le 16.4); Einstein, David Bohm, de Broglie, Schrödinger: inseparabilidad y indeterminismo de la mecánica cuantica (le 20.4); Experimentación y teoria en fisica: las interpretaciones de la experiencia de Michelson-Morley (le 22.4). En outre, contribution aux ateliers et tables rondes portant sur les cours et sur les recherches des participants.

- *Física e filosofia no pensamento de Einstein* (en portugais), Cours au Forum de Ciência e Cultura da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brésil, les 27 et 28 septembre, 1er, 4 et 5 octobre 1993 (5 séances de deux heures).

- *Le calcul différentiel et la construction de la mécanique rationnelle*, Cours de méthodes d'épistémologie et d'histoire des sciences, DEA d'Epistémologie et

histoire des sciences, Université Paris 7- Denis Diderot, oct.1993-janvier 1994 (8 séances de 2 h.); nov. 1994-décembre 1995 (6 séances de 2 h).

- *A matematização da física e suas implicações filosóficas: construção da física e cálculo diferencial da mecânica newtoniana à teoria da relatividade* (en portugais). Curso de Pós-graduação, Departamento de Filosofia, USP, Universidade de São Paulo, São Paulo (SP), Brésil, août 1995 (5 séances de 4h).

- *A idéia de universalidade da ciência e sua crítica filosófica e histórica*, Curso de extensão universitaria, les 12, 14, 19, 21, 26 et 27.9 1995 (5 séances de 2 heures 30), Universidade Federal da Bahia, Salvador (Ba), Brésil, septembre 1995.

- *Le cas Einstein*, Cours de méthodes d'épistémologie et d'histoire des sciences, DEA d'Epistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7- Denis Diderot (8 séances de 2 h.) : 1996, 1997.

- *Einstein e a física quântica : construção, interpretatação e debates. Curso de pós-graduação* (en portugais), dans le cadre de l'enseignement de Pós-Graduação du Professor Newton da Costa, Departamento de Filosofía, FFLCH, Universidade de São Paulo, 6 séances de 2 heures, du 11 août au 22 septembre 1997.

- *Mudanças e constantes na prática e na concepção da ciência : quatro periodos significatívos, de Descartes até hoje*, Minicurso (Minicours) (en portugais), au *X Colóquio de História da Ciência : Universalidade, objectividade e progresso da ciência*, Campos de Jordão (S.P., Brésil, 8-12 septembre 1997), Colloque organisé par le Centro de Lógica e Epistemologia de l'Unicamp (Campinas, S.P.) et par le Departamento de Filosofia (FFLCH) de l'USP. (4 x 2 h, du 9 au 12.9.1997).

- *Epistemologia e historia de la fisica y de las matematicas : conceptos y matematisación* [en espagnol), Cours de pos-grado, Universidad del Valle (Cali, Colombie), les 1, 2, 3, 4 et 5.12.1997 (6 x 2 h).

- *Construction et interprétation des théories physiques : la physique quantique*, *Cours de Méthodes d'Epistémologie et Histoire des Sciences*, Université Paris 7-Denis Diderot, janv.-mars 1999 (7 x 2 h).

- *Contenus rationnels et historicité des concepts physiques*, *Rationalité et historicité des concepts physiques*, *Cours d'Epistémologie et Méthodes, D.E.A. d'Epistémologie et Histoire des Sciences*, Université Paris 7-Denis Diderot, janvier-mars 2000 (7 x 2 h).

- *Materia e conceitos. Racionalidade e historicidade dos conceitos físicos*, *Curso, Programa de Pós-Graduação em História da Ciência* (en portugais), Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST/CNPq) et COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro (Brésil) : (28 de abril- 2, 5, 9, 12 de maio 2000). (5 x 2 h)

- *Física e filosofia do conhecimento*, *Curso, Programa de Pós-Graduação em Filosofia* (en portugais), Departamento de Filosofia, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianopolis (Brésil). (23, 24, 25 de maio 2000) (3 x 4 h= 12 h).

- *Problèmes d'épistémologie et d'histoire de la physique quantique*, *Cours d'Epistémologie et Méthodes, D.E.A. d'Epistémologie et Histoire des Sciences*,

Université Paris 7-Denis Diderot, janvier-mars 2001 (7 x 2h).

- *Materia e conceitos. Rationalidade e historicidade : Construção racional e transformações dos conceitos físicos. Os tres estágios do princípio de relatividade ; os conceito de tempo, de espaço e de espaço-tempo ; o conceito de vazio* (en portugais). (Matière et concepts. Rationalité et historicité : Construction rationnelle et transformations des concepts physiques. Les trois stades du principe de relativité ; les concepts de temps, d'espace et d'espace-temps ; le concept de vide), *Mini-Curso* (en Portugais), *Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências*, Universidade Federal da Bahia (UFBa), Salvador (Brésil) : (14, 16, 28, 29, 30 août 2001). (5 x 2h30 = 12h30).

- *Poincaré et la physique de son temps*, *Cours de préparation à l'agrégation de philosophie*, UFR de philosophie, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 22 avril 2002 (3 h. de cours).

- *L'invention de la théorie de la relativité. Historiographie et épistémologie*, Cours de DEA, d'Epistémologie et Histoire des sciences, Formation doctorale « Savoirs scientifiques », Université Paris 7-Denis Diderot, les 15,22,29 janvier-5,12,19 février 2003 (6 x 2h).

- *Criação científica e formas de racionalidade.- Création scientifique et formes de la rationalité*, *Curso de pós-graduação* (en portugais), Departamento de Filosofia, Univ de São Paulo, aout-novembre 2003 (12 x 2h).

- *Filosofia e ciência na época das Luzes* (Philosophie et sciences à l'époque des Lumières), Cours-Séminaires constituant le *II Seminário Internacional Filosofia e História da Ciência* (Prof. Dr. Michel Paty), *Projeto Tematico Estudos de Filosofia e História da Ciência*, Departamento de Filosofía, FFLCH, Univ de São Paulo : Vendredis 8 août-14 novembre 2003, 24 h (8 sém. de 3 h, les vendredis de 10 à 13 h) : 8 août, 22 août, 5 sept., 19 sept., 3 oct., 17 oct., 31 oct., 7 nov.).

- *Les concepts de la physique*, partie *Epistémologie* du *Cours de physique pour philosophes* (organisé par Claude Debru), Ecole Normale Supérieure, Paris, déc. 2003-avril 2004 (25 h), les vendredis à 20h30, puis à 16h30. (15 x1h30 : 12, 19 décembre 2003 ; 9, 16, 23, 30 janvier 2004 ; 6, 13, 27 février 2004 ; 5, 12, 19, 26 mars 2004 ; 2, 30 avril 2004.

- *Criação científica e formas de racionalidade.- Création scientifique et formes de la rationalité*, *Curso de pós-graduação* (en portugais), Departamento de Filosofia, Univ de Sao Paulo, 2004.

- *Aspectos e lições da Ciência do Século XX*, Curso em Conferências, *Curso de Journalismo Científico, Escola de Comunicação e Arte*, Universidade de São Paulo, 14, 21, 28 de setembro de 2004, 19h30-21h30.

- *A razão criadora e a questão dos fundamentos racionais do conhecimento ciêntífico*, *Curso de Pos-Graduação, Departamento de Filofofia*, FFLCH, Universidade de São Paulo (USP), Brasil, 6, 20, 27 de agosto de 2004 ; 3, 10, 17, 24 de setembro ; 1, 22, 29 de outubro ; 5, 12, 19, 26 de novembro de 2004 (14 sessões de 4 h).

- *A função de racionalidade. Gêneses e desenvolvimentos. Uma aproximação*

interdisciplinar, *Curso de Pos-Graduação, Departamento de Filofofia*, FFLCH, Universidade de São Paulo (USP), 23, 30 de março ; 6, 13, 20, 27 de abril ; 4,11, 18, 25 de maio ; 8, 15 de junho de 2005 (12 x 4 h).

- *A razão criadora e a questão dos fundamentos racionais do conhecimento ciêntífico*, *Curso de Pos-Graduação, Departamento de Filofofia*, FFLCH, Universidade de São Paulo (USP), Brasil, 17, 24, 31 de agosto de 2005 ; 21, 28 de setembro ; 5, 6, 8, 19, 26, de outubro ; 9, 16, 23, de novembro ; 7 de dezembro de 2005 (14 sessões de 4 h).

- *¿ Es possible una filosofia de la creacion cientifica ?, Cursillo, Universidade del Valle*, Cali, Colombie, 29 noviembre de 2005 (Séminaire-Cursillo, 2h).

- *Concepts de la physique : contenus rationnels et historicité*, *DEA et Master en Epistémologie et Histoire des Sciences, Université Paris 7-D. Diderot*, janv-fév 2006. (3x3 h).

- *Conceptions Physiques et Contributions de d'Alembert*, Partie du *Cours d'Histoire de la Physique du DEA et Mastère en Epistémologie et Histoire des Sciences*, Université Paris 7-D. Diderot, janv-fév 2006 (3x3 h).

- *A função de racionalidade. Gêneses e desenvolvimentos. Uma aproximação interdisciplinar*, *Curso de Pos-Graduação, Departamento de Filofofia, FFLCH, Universidade de São Paulo (USP)*, março ; abril ; maio ; junho de 2006 (12 x 4 h).

- *Philosophie de la physique : Introduction au thème Physique et Philosophie. Temps et causalité classique. Temps et causalité relativiste*, Partie du *Cours de Mastère 1 & 2 en Histoire et Philosophie des Sciences,* Université Paris 7-Denis Diderot. janvier-mars 2007 (3 séances de 3 h = 9 h).

- *Histoire de la physique : La mathématisation de la physique au XVIIIe siècle*, Partie du *Cours de Mastère 1 & 2 en Histoire et Philosophie des Sciences*, Université Paris 7-D. Diderot, Paris, janv.– mai 2007 (4 séances de 3 h = 12 h.).

- *O conhecimento científico como pensamento simbólico, Séminario-Curso Internacional* professado por M. P., *Depto de Filosofia, Universidade de São Paulo*, Brasil, julho-setembro de 2007 (8x 3 h= 24 h : 10, 17, 24, 31 julho ; 14, 21 août ; 11, 18 sept.).

- *O Conhecimento Científico da Matéria Imperceptível: a física quântic*a. Curso, Oficina do Relacionamento, São Paulo, SP, Brasil, sept. 2007 (4 x 2 h = 8 h : 5, 12, 19 et 26 sept).

Cours prévus en 2008 :

- *Philosophie de la physique : Problèmes de l'interprétation de la théorie quantique*, et *Histoire de la physique : La mathématisation de la physique au XVIIIe siècle*, *Cours de Mastère 1 & 2 en Histoire et Philosophie des Sciences,* Université Paris 7-Denis Diderot, mars-mai 2008.

- *Histoire de la physique : La mathématisation de la physique au XVIIIe siècle*, Partie du *Cours de Mastère 1 & 2 en Histoire et Philosophie des Sciences*, Université Paris 7-D. Diderot, Paris, mars– mai 2007 (4 séances de 3 h = 12 h.).

- *Filosofia do conhecimento científico : pensamento simbóico, criação científica, função de racionaldade*, *Curso de pós-graduação, Universidade Estadual da Paraíba*, Campina Grande (Paraíba, Brésil), juillet-août 2008.

III.4.2. DIRECTION DE MEMOIRES

(Nombreuses directions de mémoires de DEA d'Epistémologie et histoire des sciences à l'Université Paris 7-D. Diderot).

III.4.3. DIRECTION DE THESES DE DOCTORAT

J'ai dirigé les thèses suivantes en *physique* (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^0_L 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 $\eta°$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).

- Robert BLIND : *Analyse en espace de phase longitudinal de la production cohérente des systèmes K π^+ π^+ 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 a 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^-p et p^-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'Universite Louis Pasteur, Strasbourg. (Jean-Louis Riester).

- 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 a l'Université Louis Pasteur, Strasbourg, le 28.6.1978 (Roger Arnold).

- Fahrad RAHIMI : *Etude expérimentale des réactions à haute énergie : v e - v e , v N - v +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 BOUCHAKOUR : *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 electromagnétique a resolution 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 experimentale 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, 1982 (Bruno Escoubès).

J'ai dirigé les thèses suivantes en *épistémologie, philosophie et histoire des sciences* (les personnes éventuellement indiquées entre parenthèses ont également participé à la responsabilité de la thèse)[37] :

- Georges ROSSIS (Chercheur à Athènes) : *Explication et interprétation des phénomènes biologiques. Une contribution à la philosophie des sciences* (Direction partagée avec M. Jacques Tonnelat. Thèse de doctorat d'Etat ès-lettres, Université Paris 7, commencée en oct. 1985, soutenue le 3.7.1987, TH).

- Yoav BEN DOV (Boursier israelien du gouvernement français) : *Problèmes de non-localité et de mesure en mécanique quantique* (DEA, P.7- P.13. Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot/Paris 13, commencée en oct. 1986, soutenue le 18.4.1988, TH).

- Arnaud MAYRARGUE (Professeur d'Ecole normale d'instituteurs): *L'aberration des étoiles et l'éther de Fresnel, 1729-1851* (DEA, P.7. Thèse de doctorat en épistémologie et hisstoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot, commencée en oct. 1987, soutenue le 4.12.1991, TH).

- Katya AURANI (Boursière brésilienne de la CAPES jusqu'en 1990): *La nature et le rôle des probabilités dans les premières recherches de Boltzmann sur la deuxième loi de la Thermodynamique (les articles de 1866, 1871, 1872 et de 1877)* (DEA, P.7, 1987. Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot, commencée en oct. 1987, soutenue le 3.3.1992, TH).

- Antonio Augusto VIDEIRA (Boursier brésilien de la CAPES): *Atomisme épistémologique et pluralisme théorique dans la pensée de Boltzmann* (DEA, Paris 7, Thèse de doctorat en épistémologie et hisstoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot, commencée en oct. 1989, soutenue le 2.3.1992, TH).

- Mauricio PIETROCOLA de OLIVEIRA (Boursier brésilien de la CAPES): *E. Mascart et l'optique des corps en mouvement* (DEA, Paris 7, Thèse de doctorat en épistémologie et hisstoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot, commencée en oct. 1989, soutenue le 30.6.1992, THF).

- Wilton BARROSO FILHO (Boursier brésilien du CNPq jusqu'en 1989): *Principes et méthodes dans la mécanique de Lagrange* (Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot, commencée en oct. 1984, soutenue le 26.6.1992, avec l'aide de Dominique Flament, H).

- Florence MARTIN-VIOT (Agrégée, professeur de mathématiques spéciales): *L'élaboration des principes variationnels en dynamique, de Lagrange à Hamilton et Jacobi* (DEA, Paris 7, Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot, commencée en oct. 1992, soutenue le 4.11.1994, THF).

- Samuel J. SIMON RODRIGUES (Prof. assist. Univ. Brasilia, boursier brésilien de la CAPES, 1990-1995) : *L'identique et le divers dans la philosophie des sciences*

---

[37] La mention « DEA, P.7- P.13 », signifie que l'étudiant a suivi les enseignement du DEA d'Epistémologie et histoire des sciences de l'université Paris-7 (ou Paris 13), l'année indiquée étant celle du commencement de la thèse.

d'Emile Meyerson (DEA, Paris 7, Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot, commencée en oct. 1989, soutenue le 1.3.1995, TH).

- Olival FREIRE JR : *A emergencia da totalidade. David Bohm e a controversia dos quanta* (Tese de doutorado en História social da ciência e da tecnologia, Departamento de História, Universidade de São Paulo, Brésil, co-orientation avec Shozo Motoyama, commencée en novembre 1991, soutenue le 8.6.1995 ; rapport écrit de M.P. à la soutenance).

- Gérard GRIMBERG (enseignant, agrégé de mathématiques, Paris): *D'Alembert et les équations aux dérivées partielles en hydrodynamique* (DEA, Paris 7, Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot, commencée en oct. 1994, soutenue le 14.12.1998, THF).

- Joseph KOUNEIHER (enseignant, Paris): *Epistémologie et histoire récente de la gravitation quantique* (DEA, Paris 7, Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot, commencée en oct. 1992, soutenue le 17.12.1998, THF).

- Irinea de Lourdes BATISTA (boursière brésilienne, assit. Univ de Londrina, S.P., Brésil). *A teoria universal de Fermi : da sua formulação inicial até a reformulação V-A* (Tese de doutorado em Filosofia da ciência, Departamento de Filosofia, Universidade de São Paulo, co-orientation avec Newton da Costa, depuis janvier 1995, thèse soutenue le 11 septembre 1999 ; rapport écrit de M.P. à la soutenance).

- Muriel GUEDJ (enseignante IUFM, Montpellier): *Le principe de conservation de l'énergie comme principe unificateur au 19è siècle* (DEA, Paris 7, Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot, commencée en oct. 1994, thèse soutenue le 17 2.2000, TH).

- Fernando CAMELIER : *Teorias alternativas da gravitação da segunda metade do século XIX* (Tese de doutorado en História social da ciência e da tecnologia, Departamento de História, Universidade de São Paulo, co-direction Michel Paty, Shozo Motoyama ; depuis août 1989, thèse soutenue le 19 mai 2000 ; M.P. présent au jury).

- Sara FRANCESCELLI (Bologna, Italie ; allocataire MER, ATER, UFR de Physique, Univ. Paris 7-D. Diderot), *Nouveaux objets, nouveaux styles de recherche dans la physique du « chaos déterministe » : approche historique et épistémologique* (DEA, Paris 7, Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot, depuis oct. 1996. Soutenue le fév. 2001, THF).

- Tatiana ROQUE (prof. assist. Departamento de Matematica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brésil) : *Ensaio sobre a gênese das idéias matemáticas : exmplos da teoria dos sistemas dinâmicos* (Thèse de doctorat em Ciências em Engenharia da Produção - Epistémologia e história das ciências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brésil, co-dir. : Michel Paty, Christian Houzel, Ildeu Moreira et Luis Pinguelli Rosa ; soutenance de Qualificação, UFRJ, Rio de J., 27 avril 2000, et soutenance de Thèse, 21 août 2001 ; MP présent aux

jurys).

- Kenneth SIMONSEN (Oslo, Norvège), *Genèse de la mécanique de Newton : mathématisation et conceptualisation. Comparaison avec la dynamique de Leibniz* Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot, commencée en oct. 1996, soutenue le 18 juin 2003, THF).

[- Elektra PETROPOULOS (enseignante à Athènes, Grèce). *Le fondement électromagnétique de l'atomisme de Paul Langevin* (DEA, Paris 7, Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot, commencée en oct. 1993).] (Thèse non terminée)

[- Imen JERIDI. *William Thomson et l'analogie de la chaleur et de l'électricité* (Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot, commencée en oct. 1997).] (Thèse non terminée)

[- Carlos GALLES (Professeur Université de Rosario, Argentine). *L'histoire de la physique en Argentine* (Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot, commencée en oct. 1998).] (Thèse non terminée)

- Jean-Pierre YMELE (Assistant en philosophie, Université de Yaoundé, Cameroun), *Le statut de l'observateur en physique* (Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot, commencée en oct.1999, soutenance en février 2006, THF).

- Massaki HARADA (o.p.). *Les reconstructions sémantiques dans les formalismes de la physique quantique* (Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot, commencée en oct. 2001, soutenue le 26 février 2005, THF).

- Angel Enrique ROMERO CHACON (Prof. Univ. Nac. Antioquia, Medellin, Colombie). *La rationalisation de la mécanique chez Euler* (Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot, commencée en oct. 2002, soutenue en février 2007, THF).

- Olga Luz Dary RODRIGUEZ RODRIGUEZ (Prof. Univ. Nac. Antioquia, Medellin, Colombie). *Histoire de la mécanique et théorie physique selon Pierre Duhem* (Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot, commencée en oct. 2002, soutenance prévue en 2008).

- Roberto PONCZEK (Prof. UFBa, Salvador, Brésil). *Spinoza e Einstein: Um estudo comparativo* (Tese de Doutorado de Filosofia da Educação, UFBa, Salvador, Brésil, Thèse commencée en 2003, co-dir. Dante Galeffi et Michel Paty, soutenue le 28 avril 2005).

J'ai assuré l'orientation d'autres doctorants étrangers durant leur séjour en France, notamment :

- Lelita de RODRIGUES BENOIT : *A sociologia comtiana: gênese e devir* (Tese de doutorado em Filosofia, Departamento de Filosofia, Université de São Paulo, Brésil, M.P. dir. durant le séjour en France de la candidate, dir. par Marilena Chaui, commencée en 1989, soutenue le 15.8.1997 ; M.P. présent au jury).

- Mauricio de Carvalho RAMOS : *Pierre-Louis Moreau de Maupertuis e a geração dos corpos orgnizados* (Tese de doutorado em Filosofia da ciência, Departamento de Filosofia, Universidade de São Paulo, Brésil, M.P. dir. de la thèse pendant le séjour en France du candidat, dir. par Pablo Mariconda, thèse

soutenue en 1998).

III.4.4. DIRECTION ET PARAINNAGES DE CHERCHEURS

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 theses ci-dessus. En outre : Clara Matteuzzi (bours. IN2P3) : 1973-1975

J'ai dirigé ou parrainé les recherches en épistémologie et histoire des sciences de:

- Patrick PETITJEAN (C. R. au CNRS, équipe REHSEIS) (Histoire institutionnelle des sciences) (dir., 1984 et suiv.).

- Olivier DARRIGOL (A.R. puis C.R. au CNRS, équipe REHSEIS) (Histoire de la physique quantique) (parr., 1983 et suiv., sect. 35).

- Irène PASSERON, Chargée de recherches au CNRS (équipe REHSEIS), nommé par la section 01, mathématiques), en 1999 (dir. des rech., 1999-).

III.5. COLLABORATIONS INTERNATIONALES ET SEJOURS A L'EXTERIEUR

III.5.1. COLLABORATIONS ET ECHANGES INTERNATIONAUX

III.5.1a Collaborations

- Diverses collaborations en physique des particules élémentaires : laboratoires d' Universités ou d'institutions de recherche de Bergen (Norvège), Budapest (Hongrie), CERN (Genève, Suisse), Dublin (Irlande), Londres (Univ Collège, GB), Madrid (JEN, Espagne), Milan (I), Rome (I) (avant 1983).

- Collaboration de recherche franco-brésilienne *en Histoire des sciences* : Responsable français pour l'accord CNRS/CNPq, Equipe Rehseis/Grupo de História da ciência-Depto História, Univ. São Paulo (1976-1980).

- Collaboration d'enseignement et de recherche franco-brésilienne : Responsable français pour l'accord CAPES/COFECUB en *Logique, Epistémologie et Philosophie des sciences*, Université PARIS-7/ Université São Paulo (1992-1996).

- *Collaboration Ecos-Nord franco-colombienne en histoire des sciences* entre l'équipe REHSEIS (Univ. Paris 7-D. Diderot) et le Departamiento de Didatica y

Historia de las Ciencias Matematicas y Fisicas (Universidad del Valle), Programme Ecos-Nord France-Colombie n° 97-PC08 : *Formation et développement de la culture scientifique en Colombie. Les mathématiques et la physique (1880-1940)*. Responsable français. (1997-2001).

- Projet de *Collaboration Ecos-Nord franco-mexicano-colombienne en histoire des sciences* entre l'Equipe REHSEIS (Univ. Paris 7-D. Diderot), le Departamiento de Matemáticas de l'UNAM (México) et le Departamiento de Didatica y Historia de las Ciencias Matematicas y Fisicas (Universidad del Valle), sur le thème *Contenus conceptuels et transmission des mathématiques et de la physique (18 è, 19 è et 20 è siècles)*. Responsable français. (2003-).

- Membre de Conseils scientiques d'institutions dans des pays étrangers (São Paulo, Milan) ou au niveau européen : voir III.2.1, III.2.3 et III.2.6.

III.5.1b Invitations de collègues de l'étranger

- Lorsque j'étais chercheur au CRN de Strasbourg, j'ai invité plusieurs collègues venant de l'étranger, pour plusieurs années ou de façon permanente. Parmi eux, trois chercheurs de la JEN[38], Madrid : Antoni LLORET, DR au CNRS (de 1970 à 1975), Bruno ESCOUBES, français travaillant en Espagne (entré comme AR au CNRS (depuis 1972), Salomé ESCOUBES DE UNAMUNO, AR au CNRS (depuis 1972). J'ai pu faire inviter, par l'Université Louis Pasteur, sur un poste devenu ensuite permanent, le physicien théoricien José Leite LOPES, professseur à l'Université Fédérale de Rio de Janeiro (Brésil) et au Centro Brasileiro de Pesquisa Físicas, l'un des meilleurs physiciens brésiliens, proscrit par la dictature militaire brésilienne en 1969 (il est resté à Strasbourg de 1970 à sa retraite, en 1987). Je mentionne également Milan NIKOLIC, physicien yougoslave (de 1972 à 1974), et Saul BARSHAY, physicien théoricien américain (de 1974 à 1982).

- Comme chercheur et responsable à l'Equipe REHSEIS, j'ai invité à Paris des enseignants-chercheurs de l'étranger, professeurs donnant des enseignemens au niveau doctoral, professeurs en année sabbatique, boursiers post-doctoraux : Luis Carlos ARBOLEDA (Univ. del Valle, Cali, Colombie, août-déc. 1996, sept. 1997), Eduardo Barra (Curitiba, Pa, Brésil, janv.-déc. 2008), Gustavo CAPONI (UFSC, Florianopolis, Brésil, août 1999-juil. 2000, fév. 2002), Sandra CAPONI (UFSC, Florianopolis, Brésil, août 1999-juil. 2000), Marilena CHAUI (USP, São Paulo, Brésil, fév. 1995), Silvio CHIBENI (Unicamp, Campinas, Brésil, août 1994-juil. 1995), Newton da COSTA (USP, São Paulo, Brésil, mai 1992, mai 1993, mai 1995, mai-juin 1996, juin-juillet 1997), Alberto CUPANI (UFSC, Florianopolis, Brésil, août 1994-juil. 1995), Maria Amelia DANTES (USP, São Paulo, Brésil, mai 1988), Heloisa Bertol DOMINGUES (MAST, Rio de Janeiro, mars-juillet 1997), Luis Henrique DUTRA (UFSC, Florianopolis, Brésil, août 1994-juil. 1995, sept 2001-sept. 2002), Olival FREIRE (UFBa, Salvador, Ba, Brésil, août 1996-sept. 1997), Yves GINGRAS (UNMQ, Montreal, Canada, juin 1999, mars 2002), Bruno GIORGINI (Univ. de Bologne, Italie, 1992), Irfan HABIB (NISTADS, New Delhi, Inde, juin-juil. 1997), Amelia Imperio HAMBURGER (USP, São Paulo, Brésil, 1987), Roy MACLEOD (Univ. Sydney, Australie, sept. 1998), Pablo MARICONDA

[38] JEN : Junta de Energia Nuclear.

(USP, Sao Paulo, Brésil, mars 1993, janv. 1994, août 1997-juil. 1999), Mikhail MONATSIRSKY (Acad. Sc., Moscou, Russie, mars-juin 1997, mars 1998), Milan NIKOLIC (Univ. Novi Sad, Serbie, oct. 1995, oct. 1996, oct. 1997, sept. 1998), Oswaldo PORCHAT (USP, Sao Paulo, Brésil, mars 1994), Dhruv RAINA (NISTADS, New Delhi, Inde, juin-sept. 1997, juin et sept. 2001), Elio Ricardo (PUC Brasilia, Brésil, déc. 2006-janv. 2008), Juan José SALDAÑA (UNAM, Mexico, juin 2000), Luis Henrique dos SANTOS (USP, Sao Paulo, Brésil, janv.1997-juin 1998), Maria das Graças SOUZA DO NASCIMENTO (USP, São Paulo, Brésil, janv.-fév. 2000), Nicolina SRETENOVA (Acad. Sc., Sofia, Bulgarie, janv.-juin 1998), Robinson TENORIO (UEFS, Feira de Santana, Ba, Brésil, août 1999-nov. 2000), Marx WARTOFSKY[39] (City Univ of New York, sept. 1985-juil. 1986, et sept. 1993-juil. 1994), …

- En outre, des doctorants ont passé, à mon invitation, de plusieurs mois à plusieurs années à Paris, dans l'équipe REHSEIS, parmi lesquels : Ana ALVES (Univ. São Paulo, août 2001– octobre 2002), Maribel ANACONA (Univ. del Valle, Cali, Colombie, avril-oct. 2000, déc. 2001-avril 2002), Gabriela ARBELAEZ (Univ. Popayán et Cali, Colombie, sept.-déc. 2000), Katya M. AURANI (Univ. São Paulo, Brésil, 1986-1992), Irinea L. BATISTA (Univ. Londrina et São Paulo, Brésil, août 1995-juillet 1996), Cesar BATTISTI (USP, São Paulo, Brésil, août 1996-juil. 1997), Lelita BENOIT (USP, São Paulo, Brésil, 1995-1996), Marisa DONATELLI (Univ. São Paulo, Brésil, aout 1996-juil. 1997), Mauricio PIETROCOLA (São Paulo, Brésil, 1989-1992), Mauricio Carvalho RAMOS (São Paulo, Brésil, août 1995-juil. 1996), Regina REBOLLO (São Paulo, Brésil, août 1996-juil. 1997), Olga Luz Dary RODRIGUEZ (Univ Nac Antioquia, Medellin, Colombie, oct 2003-fév 2007), Angel ROMERO CHACON (Univ Nac Antioquia, Medellin, Colombie, oct 2003-fév 2007), Tatiana ROQUE (Prof-Ass UFRJ, Rio de Janeiro, Brésil, janv. 1998-déc. 1999), Marisa RUSSO (São Paulo, Brésil, août 1998-juil. 2001), Samuel SIMON (Brasilia, Brésil, 1990-1995), Everaldo STROK (USP, São Paulo, Brésil, mars 1997-juin 1998), Antonio Augusto VIDEIRA (Rio de Janeiro, Brésil, 1889-1992), Jean-Pierre YMELE (Assist Univ. Yaoundé, Cameroun, sept. 2000, oct.-déc. 2001, janv.-mai 2003).

III.5.2. SEJOURS A L'ETRANGER

- Juin 1965-juillet 1966: professeur-assistant au Brésil (coopération scientique et technique), à l'*Université de Brasilia*, puis au *Centro Brasileiro de Pesquisas Fisicas*, *Rio de Janeiro* (cours, séminaires).

- Septembre 1970: *Central Research Institute of Physics, Budapest* (échanges CNRS, Acad. Sc. de Hongrie). (Collab., séminaire).

- Décembre 1971: *Institut de recherches nucléaires, Dubna*, URSS (échanges CNRS, Acad. Sc. de l'URSS).

- Septembre 1974: *Laboratory of Nuclear and Particle Physics, Oxford University ; Department of Cosmic rays and particle physics, University College, Londres*, U.K. (séjour d'études et de recherches).

- Mai 1980: *Institut de Physique, Université de Varsovie*. (Collab., séminaire).

[39] Marx Wartofsky (1928-1997), professeur à l'Université de New York City.

- Juillet-septembre 1982: *Departamento de Fisica, Universidade de Sao Paulo*. (Prof. associé. Cours de physique et d'épistémologie, séminaires).

- Septembre 1984: invité par le *Department of Philosophy, London School of Economics, Londres* (séminaires).

- 19 janvier - 3 février 1985: invité par le *NISTADS (National Institute of Science and Technology), New-Delhi* (séminaires, colloque, visite d'universités et centres de recherche à New-Delhi, Hyderabad, Jaipur, Tonk).

- 11 juillet - 20 août 1985: prof. associé, invité par l'*Université de Sao Paulo*, avec le soutien du Ministère des Affaires Etrangères et de la FAPESP (São Paulo). (Cours, séminaires).

- 25 mai - 6 juin 1986: invité au *Van Leer Institute, Jerusalem* (séminaires, recherche).

- 7 novembre - 6 décembre 1986: invité à l'*Université de São Paulo*, avec le soutien du Ministère des Affaires Etrangères (France), de la FAPESP (Etat de São Paulo) et du CNPq (Brésil). (Cours, séminaires).

- 20 avril au 8 mai 1987: séjour de recherches en bibliothèques et en archives aux Etats-Unis (*Princeton et Université de Boston*).

- 10 septembre - 13 octobre 1987: séjour de recherche et d'enseignement à l'*Université de Sao Paulo, Brésil* (Univ. de Sao Paulo, Ministère français des Aff. étr.).

- 1er juillet- 24 août 1988: séjour de recherche et d'enseignement à l'*Université de Sao Paulo*, Brésil, dans le cadre des accords CNRS/CNPq.

- 23 mars 1989 - début mars 1991: professeur au *Departamento de Filosofia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo*, Brésil (en détachement du CNRS) (sur poste de Coopération culturelle et scientifique du Ministère des Affaires Etrangères, Paris, et de l'Université de São Paulo).

- 10 octobre-15 novembre 1991: professeur invité à l'*Instituto de Estudos Avançados, Universidade de São Paulo* (Brésil).

- 19-25 janvier 1992: invité comme 'asesor internacional' par l'*ICFES (Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior*), Bogota, Colombie.

- 17 nov.- 22 déc. 1992: invité au *Departamento de Filosofia, Universidade de São Paulo*, Brésil.

- 20- 26 janvier 1993: invité au *Département de Philosophie, Université de Lodz* (Pologne).

- 14-27.4.1993: invité au *Centro Internacional de Fisica, Bogotà*, et à l'*Universidad del Valle, Cali* (Colombie).

- 16.8.1993-16.10.1993: invité (accord CAPES-COFECUB) au *Departamento de Filosofia, Universidade de São Paulo*, puis professeur invité à l'*Instituto de Estudos Avançados, Universidade de São Paulo* (Brésil).

- 23-27.2.1994: invité à l'*Università di Bologna* (Italie).

- 1.8.1995-4.10.1995: séjour d'enseignement et de recherche au *Departamento de Filosofia, Universidade de São Paulo*, S.P. (accord CAPES-COFECUB), puis professeur invité à l'*Universidade Federal da Bahia, Salvador*, Ba (Brésil).

- 1.8-30.9.1997 : Professeur invité au *Departamento de Filosofia, Universidade de São Paulo*, Brésil (Cours, séminaires, conférences).

- 1-17.12.1997 : Professeur invité à l'*Universidad del Valle, Cali*, Colombie : cours de Pos-Graduación, conférence.

- 25 avril au 22 mai 2000 : Professor-visitante au *Museu de Astronomia e Ciências Afins* (CNPq et Universidade Federal de Rio de Janeiro (Rio de Janeiro, Brésil) : cours de Pos-Graduação, participation à jury de qualificação de thèses de doctorat ; invité à un Colloque et conférence au MAST Colloquia. Egalement invité à l'*Universidade de São Paulo* (jurys de thèse).

- 22 au 26 mai 2000. *Universidade Federal de Santa Catarina* (Florianopólis, Brésil) : cours de Pos-Graduação et conférence.

- 14 au 31 août 2000: Invité au *Congreso Nacional de Matemáticas/2000*, Santa Fé de Bogotá (Colombie), 14-18 août 2000; et aux Universités del Valle, Cali, et Nacional de Antioquia, Medellin (Colombie), 19-31 août 2000: conférences, réunions de travail.

- 8 au 21 juillet 2001 : Congrès d'Histoire des Sciences de Mexico (8-14.7), puis invité par l'*Universidad Autonoma de México* (Mexique) pour deux conférences (15-21.7).

- 2 août au 7 septembre 2001 : Professeur invité à l'*Universidade Federal da Bahia* (Salvador-Ba, Brésil) : Programa de Pós-Graduação em Epistemologia e História da Ciência (cours et séminaires). Egalement invité à l'*Universidade Federal de Santa Catarina* (Florianopolis), pour le *Congresso Principia* (5-11.8) ; à l'*Universidade Federal do Rio de Janeiro* (RJ), par la COPPE (21-23.8) ; à l'*Universidade Estadual de Santa Cruz à Ilhéus* (Ba) (2-4.9).

- 1er août-30 nov 2003 : Professeur invité à l'*Universidade de São Paulo* (USP, Brésil) : *Departamento de Filosofia* (Cours et séminaires).

- 1er juillet 2004-31 juillet 2006, *Professor Visitante, Departamento de Filosofia, FFLCH, Universidade de São Paulo (SP), Brasil* (Cours, séminaires, recherche, orientation d'étudiants).

- 12-17 septembre 2005. *Invité à l'Université de Montréal (Québec, Canada).* (Séminaires aux départements de Physique et de Philosophie, Conférence de grand public « Les Belles Soirées »).

- 26 septiembre - 3 octobre 2005. *Invité à l'Universidade del Valle, Cali, Colombie* (« Convidado especial », Conferênce inaugurale du Colloque Einstein, le 28.11, cours-cursillo, le 29.11).

- 13-17 décembre 2005. *Invité à l'Université de Tunis (Tunisie).* (Conférence invitée au *Colloque Einstein*, et entretiens avec des doctorants).

- 4 juillet-3 sept. 2007, *Professor Convidado, Departamento de Filosofia, FFLCH, Universidade de São Paulo* (SP), Brasil. São Paulo,.

- 7-18 novembre 2007. Série de *conférences en Colombie* : *Acad. Ciencias E. y N., Bogotá ; Depto Filosofia, Universidad del Valle, Cali* ; *Deptos de Ciencias y de Educación*, *Universidad Nacional de Antioquia, Medellin ; Universidad del Atlantico, Barranquilla.* (Conférences et réunions avec chercheurs et

enseignants).

- 22-26 novembre 2007. Invité à l'*Université de Tunis* (Tunisie), *(Colloque « Michel Paty, philosophe et historien des scences »*, Conférence de clôture, interventions, et entretiens avec des doctorants en marge du Colloque et après).

III.6. PARTICIPATIONS A DES COLLOQUES ET CONGRES

(Voir aussi Organisation de Colloques, III.3.2)

- *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][40]).

- *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*,

[40] La référence renvoie à la bibliographie.

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.

- *Journees « Galilée et la Théorie du mouvement »*[41], Univ. de Nice, 19-20 juin 1979 (Interventions. Cf. [1981l]).

- *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*[42], 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 1980[43] (Conf. invitée : Popper, Einstein et le débat quantique aujourd'hui, le 4.7. Cf. [1982a]).

- *Meeting on theoretical science and its social context*[44], 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 a la Conférence).

- *32ª Reuniao anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência*, em

---

41 Organisé par Pierre Souffrin (disparu en sept. 2002), avec la partipation notamment de Ludovico Geymonat, André Tosel…

42 Voir plus haut, II.3.7 et la note.

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

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

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 inseparahilidade quantica em perspectiva, le 9.7).

- *Seminario de Epistemologia*, Bogotá (Colombie), février 1983[45]. (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 revolution scientifique »).

- *Etats Généraux sur les études latino-américaines en France*, Institut des Hautes Etudes de l'Amérique Latine, Paris, 27-29 mai 1983 (participation aux travaux de la Commission sur les sciences exactes et la coopération).

- *Colloque D'Alembert (1717-1783)*, Centre International de Synthèse, Hotel de Sully, Paris, 15-19 juin 1983 (Exposé : Rapport des mathématiques et de la physique dans la pensée de d'Alembert, cf. [1984b] ; interventions).

- *Convegno Internazionale Marx e le scienze*, Università di Palermo e Istituto siciliano, Palermo (Italie), 24-27 octobre 1983 (Conférence invitée : Matérialisme et abstraction, cf. [1986d]).

- *Journée d'étude sur « Les prémisses conceptuelles du travail de recherche en physique aujourd'hui »*[46], Centre International de Synthèse, Collège de France, Paris, 15 octobre 1983 (Exposé : Mathématisation et rapport avec l'expérience, cf. [1984f] ; interventions).

- *Seminar on Science and Empire, 1700-1747*, New Delhi, 21-25 jan. 1985[47] (Communication : The problem of the scientific relations between France and Brazil in the 19th and early 20th centuries, le 25.1).

- *Journée sur la Complémentarité, Groupe de travail sur la physique contemporaine « Au pêcheur d'Eddington »*, Collège de France, Paris, 20 avril 1985. (Exposé : Les objections d'Einstein à la mécanique quantique).

- *3e colloque franco-britannique, sur « Mythe et réalités de l'activité*

---

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

[46] Organisée par Catherine Chevalley, avec la participation de F. Laloë, M. Paty, J. des Cloiseaux, J. Iliopoulos, C. Itsykson, B. d'Espagnat, …

[47] Séminaire organisé par Abdur Rahman, alors directeur du NISTADS, New Delhi. Parmi les participants : Irfan Habib, S. Irfan Habib, Christian Houzel, V. Krishna, Dhruv Raina, Roshdi Rashed, …

scientifique », Université de Lille III, 30-31 mai et 1er juin 1985 (Communication : La réception scientifique de la théorie de la relativité en France : styles de recherche et présupposés épistémologiques dans le cas des sciences exactes, le 30.5).

- *37a reuniao anual da Sociedade brasileira para o progresso de ciencia (SBPC)*, Belo Horizonte (Brésil), 10-17 juillet 1985 (Conférence : Recepção de uma nova teoria e tradicao científica : o caso da relatividade (Poincaré, Langevin e os cientistas franceses), le 16.7. Cf. [1985o]).

- *Congresso Internazionale « La rinscita della filosofia della scienza e della storia dessa scienza in Italia dagli anni trinta ad oggi »*, Varese (Italie), 24-26 oct. 1985. (Exposé invité : Sur la philosophie mathématique et physique : contribution au débat italien vu de France, cf. [1987c]).

- *Colloque de l'European Association for the Study of Science and Technology, 4th meeting : « The senses of science. Les sens de la science »*, Strasbourg, 29 sept.-1er oct.1986 (Contribution : Remarques épistémologiques sur l'objet commun de la physique des particules et de la cosmologie, le 30.9. Cf. [1990c]).

- *Ecole de printemps du CNRS sur l'histoire des sciences*, Garchy (Nièvre), 1987. (Exposé).

- *Colloque « Crise et stratégie: la question de la science »*, Laboratoire de Psychologie clinique sociale et développementale, Université de Paris XIII-Villetaneuse, 16.5.1987 (Conférence : Epistémologie des crises en physique, cf [1988d]).

- *Congrès du cinquantenaire de l'Association des Sociétés de philosophie de langue française*, Paris, 6-8 juillet 1987 (Conférence invitée : Science et philosophie : la nouveauté et sa référence, cf. [1988c]).

- *Colloque « La portée européenne des traditions épistémologiques italiennes »*, Institut Culturel Italien, Paris, 3-5 nov. 1987 (Exposé à la table-ronde de clôture : Remarques sur le rationalisme et les sciences dites empiriques, le 5.11).

- *Table-ronde Images réciproques du Brésil et de la France*, Palais du Luxembourg, Paris, 3-5.12.1987. (Exposé invité : Exemple d'influence scientifique et culturelle : les voies spécifiques de la physique mathématique. Exemplo de influência científica et cultural: as vias específicas da física matemática, le 5.12. Cf. [1991b]).

- *Segundo Congresso da Sociedade latino-americana de historia das ciências*, São Paulo (Brésil), 30juin–4 juillet 1988. (Conférence plénière invitée : Sur l'histoire et la philosophie de la découverte scientifique : champs de rationalité, styles scientifiques, traditions et influences, le 1.7. Cf. [1989f]).

- *40a Reunião anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência*, São Paulo (Brésil), 10.-16 juillet 1988. (Conférence invitée : Einstein, historia e filosofia da ciência, le 11.7)

- *Colloque Rationalité et objectivité*, Centre Culturel International de Cerisy-la-Salle, 9-18 septembre 1988 (Exposé invité : Les sciences dites empiriques et le nouveau synthétique a priori (à propos de la physique contemporaine, le 12.9).

- *Premières rencontres transdisciplinaires sur les usages cognitifs, pragmatiques et sociaux de l'espace*, IRASCA, CRISSA, GRT, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 14-15 octobre 1988 (Interventions).

- *Trente-sixièmes journées de l'Union des physiciens*, Université de Rouen, 29 octobre 1988 (Conférence dans l'« Atelier Einstein » : Approches comparées de la relativité restreinte : Lorentz, Poincaré, Einstein, le 29.10).

- *Colloque Les mathématiques italiennes et françaises entre les deux guerres*, Institut Culturel Italien, Paris, 6-7 décembre 1988 (Participation à la table ronde « *Mathématiques et société* », avec C. Houzel, G. Israel, P. Nastasi, M. Panza, M. Paty, D. Pestre, le 6.12).

- *Simpósio internacional : A Revolução francesa e seu impacto na America Latina* , 29 de maio-1° de junho de 1989, Departamento de Historia, Universidade de São Paulo (Brésil). (Conférence invitée : Ciência, filosofia e sociedade, da *Encyclopédie* até à Revolução francesa : de d'Alembert a Condorcet, le 30.6. Cf. [1990g]).

- *Colloque international 1830-1930: un siècle de géométrie, de C.F. Gauss et B. Riemann à H. Poincaré et E. Cartan. Epistémologie, histoire et mathématiques*, Paris, 18-23 septembre 1989. (Exposé invité : Géométrie physique et relativité: approches comparées de Poincaré et d'Einstein, le 19.9. Cf. [1992e]).

- *5° Coloquio de História da Ciência: A Ciência no Século das Luzes*, Centro de Lógica, epistemologia e historia da ciência, Unicamp (Universidade de Campinas), Campinas, Vinhedos (S.P., Brésil), 23-25 octobre 1989 (Conférence invitée : D'Alembert, entre Descartes e Newton, en portugais, le 25.10).

- *Colloquio Racionalidade epistemica*, UNICAMP, Universidade de Campinas (Brésil), août 1990.

- *4° Encontro de Historia e Saude*, Casa Oswaldo Cruz/FIOCRUZ, Rio de Janeiro (Brésil), 5-9 novembro 1990 (Conférence invitée : Filosofia da descoberta cientifica : campos de racionalidade, estílos científicos, tradições e influências, le 9.11).

- *Colloque Les procédures de preuve, de validation et d'évaluation dans les sciences et les techniques: une approche historique*, Universités de Lille I et III, Lille, 11-13.4.1991 (Exposé : Statut de l'expérience et nature de l'objet théorique, cf. [1992g]).

- *Journée d'action pour la philosophie: « Quel avenir pour la philosophie? »*, Université de Besançon, 17 avril 1991 (Conférence invitée : La dimension philosophique du travail scientifique (découverte et interprétation), cf. [1992b]).

- *Journée Inconscient et construction des objets scientifiques*, Association Expérience Freudienne et Recherche Scientifique, Paris, 1er juin 1991 (Conférence : Crises et découverte en science).

- *Horizonte de la investigación contemporanea, Cursos de Verano de la Universidade Complutense,* El Escorial, Madrid (Espagne), 26-30 août 1991. (Conférence invitée : Découverte et interprétation dans les sciences. Relation et distinction entre la science et la philosophie, le 29.8)

- *I Congresso Internacional « História da Ciência e Epistemologia »*, org. pelo Centro de Historia da ciência, Universidade de São Paulo, Piracicaba (S.P., Brésil), 11.10.1991. (Conférence invitée : Experiencia e natureza do objeto teorico , le 11.10).

- *Rencontre franco-espagnole sur l'histoire des mathématiques*, Madrid (Espagne), 18-23 novembre 1991 (Exposé invité : Le caractère historique de l'adéquation des mathématiques à la physique, le 22.11. Cf. [1994b]).

- *III Congresso Latino Americano de Historia de la Ciencia y la Tecnologia*, México (Mexique), 12-16 janvier 1992 (Communication).

- *Seminario-taller sobre « La institucionalizacion de la inverstigación cientifica », Instituto Colombiano para el Fomento a la Educacion Superior (ICFES)*, Bogotà (Colombie), 20 et 21.1.1992 (Conférencier du séminaire, conférences et débats : La institutionalización de la investigación cientifica, 2 demi-journées, en espagnol).

- *Primer Symposio del Programa Nacional de Ciencias Básicas*, COLCIENCIAS, 22-24 janvier 1992, Buga (près de Cali), Colombie. (Interventions comme « Asesor internacional » invité)[48].

- *Colloque Erwin Schrödinger : philosophy and the birth of quantum mechanics*, Paris 18-20 juin 1992 (18.6.1992). (Conférence invitée : Formalisme et interprétation physique chez Schrödinger, cf. [1993d]).

- *Congresso Internacional America 92: Raízes e trajectorias*, São Paulo, 16-20.8, et Rio de Janeiro (Brésil), 22-26.8.1992 (Une conférence invitée en deux parties : Sobre o estudo comparativo da história da difusão e da integração das ciências, les 19 et 23.8, cf. [1996f] ; et un exposé : A viagem de Einstein na America do Sul em 1925 e a recepção da Relatividade, Contribution à la Mesa redonda « *America : seculo XX* », parte 2, le 20.8).

- Journée *« Colombie: carrefour de l'avenir », Premier forum scientifique en France de l'ACAST* (Association des chercheurs pour l'avancement des sciences et technologies en Colombie, Red Caldas), UNESCO, Paris, 14 mai 1993. (Intervention : Une réflexion sur les sciences et l'Amérique latine).

- *XI th. International Colloquium, The status of existence of « hidden » physical entities (atoms, elementary partcles, etc.)*, Association F. Gonseth, Institut de la méthode, Société suisse de logique et de philosophie des sciences, Biel-Bienne (Suisse), 11-12.6.1993[49] (Conférence invitée : Prédicat d'existence et prédictivité d'un objet théorique en physique, le 11.6. Cf. [1993g]).

- *International Conference: Neutral currents twenty years later*, Paris, 6-9 juillet 1993.

---

[48] L'autre assesseur international (nous étions deux) était un biologiste chilien. J'ai notamment fortement défendu, dans mes interventions, la nécessité de soutenir l'espagnol comme langue scientifique (ce qui n'était pas toujours évident pour certains jeunes technocrates, même « de progrès »…).

[49] Organisé par François Bonsack.

-*VIII Colóquio de História da Ciência, Espaço e tempo* (CLE, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, UNICAMP, Univ. de Campinas, Brésil), Águas de Lindoía (S.P., Brésil), 14-17 octobre 1993. (Conférence invitée : A construção matematica e a realidade do espaço-tempo da teoria da relatividade. O tempo e os fenómenos, da relatividade restrita à relatividade geral, 14.10.93. Cf. [1995c]).

- *Workshop Dove va la Big science. Sviluppo, passati e prospettive future*, en hommage à Marcello Cini pour son soixante-dixième anniversaire, Dipartimento di Fisica dell'Università La Sapienza, Rome, 22 octobre 1993. (Exposé invité : La Big science est-elle une pensée ?).

- *Colloque Instruments de mesure. Philosophies de la mesure »*, Centre d'analyse des formes et des systèmes, Université Jean Moulin-Lyon 3/ MEST/ ARIES, octobre 1993. (Exposé invité : Mesure, expérience et objet théorique en physique, le 29.10. Cf. [1994a]).

- Journée *Le temps et sa flèche*, Société Française de Physique, division "Champs et particules", Colloques sur les questions fondamentales de la physique. Sous le patronage du Ministère de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur, de *Libération*, *La Recherche*, *Ciel et espace*, 8 décembre 1993. (Conférence invitée : Sur l'histoire du problème du temps : le temps physique et les phénomènes, cf. [1994f]).

- *Colloque public « Quelle place pour la morale ? »*, organisé par le Cercle Condorcet, l'hebdomadaire *La Vie*, et la Ligue de l'Enseignement, Palais des Expositions, Paris, 15.1.1994. (Contribution à l'atelier « Science », exposé sur : Problèmes d'éthique et science, cf. [1997i]).

- *Journée « La mesure dans les sciences »*, autour de l'oeuvre de Gilles-Gaston Granger, Département de philosophie, Ecole Normale Supérieure, Paris, 18.1.1994. (Participation à la Table-ronde « La mesure dans les sciences exactes », avec l'exposé invité : Contenus formels et contenus empiriques, remarques sur la philosophie de G.-G. Granger).

- *Journées d'études « Représentations de l'atome », Sessions L'atome dans l'histoire des idées*, organisées par le Palais de la Découverte à l'Ecole Normale Supérieure, 27-28.1.1994 (Exposé: Atomisme et probabilités, le 27.1.1994).

- *Table-ronde sur « La modélisation en informatique »*, avec Ph. Aigrain, L. Kott, J. Mazoyer, M. Paty, J. Stern, Journée de l'AFIT, Association française d'informatique théorique, Paris, 19.3.1994. (Exposé invité : Sur les modèles et la modélisation, cf. [1995d]).

- *Congrès International Henri Poincaré 1994*, Nancy, 14-18.5.1994. (Conférence invitée: Poincaré et le principe de relativité (le 16.5), cf. [1996d]).

- *Colloque Les sciences hors d'Occident au XXè siècle*, ORSTOM-UNESCO, Paris, 19-22 septembre 1994. (Participation aux discussions).

- *Journées d'études sur l'analogie*, Equipe REHSEIS, CNRS, Paris, 6-7.12.1994. (Exposé: L'analogie mathématique au sens de Poincaré et sa fonction en physique, le 7.12, cf [à paraître,g]).

- *IV Congresso de la Sociedad Latino-americana de Historia de las Ciencias*, Cali (Colombie), 24-27.1.1995. (Conférence invitée : La idea de universalidad de la ciencia y su critica filosofica e historica, le 27.1, cf. [1997c] ; Participation à une réunion-table-ronde pour l'établissement d'une collaboration latino-américaine et européenne pour les formations doctorales en Epistémologie et Histoire des sciences, et exposé : El programa cientifico de la Equipe REHSEIS y la formacion doctoral en Epistemologia y Historia de la Ciencia en la Universidad Paris-7-Denis Diderot, le 24.1).

- *Journée Epistémologie et histoire des sciences dans l'oeuvre de Pierre Duhem*, UFR de Philosophie, Université Michel de Montaigne-Bordeaux-3, 31 mars 1995. (Exposé : Le sens de la mathématisation des théories physiques selon Poincaré et Duhem).

- *Colloque franco-autrichien Philosophie et Science au tournant du siècle: Mach, Boltzmann, Poincaré et Duhem*, Paris, 29 mai-1er juin 1995. (Conférence, le 30.5 : La place des principes dans la physique mathématique au sens de Poincaré, cf. [1999b]).

- *XXXV Congresso Brasileiro de Química*, Salvador (Ba, Brésil), sept. 1995. (Conférence invitée : Sobre o problema do tempo : o tempo físico e os fenômenos (História e epistemologia das ciências), le 25.9.1995).

- *Colloque Complexité scientifique et choix démocratique*, ADAPES, Cité des sciences et des techniques, Parc de la Villette, Paris, 14 mars 1996. (Contribution à la Table-ronde « Le citoyen, l'agora et la "big-science" » : Remarques sur la production sociale des sciences et la question de la vérité, cf. [1996h]).

- *Workshop on Geometry and Physics, 1900-1930*, Open University, Milton Keynes, U.K., 14-19 mars 1996 (Contribution : Thinking mathematically, thinking physically. About Poincaré's and Einstein's respective ways to a relativistic theory of gravitation. Some Remarks, le 17.3, cf. [1996k]).

- *International Conference Science the refreshing river. History of science and civilizations* (Joseph Needham Conference), New Delhi, 2nd-4th september 1996 (Conférence invitée : The idea of universality of science : a philosophical idea to the proof of history, le 2.9, cf. [1999d] ; Présidence d'une session.)

- *Géométrie et calcul infinitésimal au 17e siècle*, Maison des Sciences de l'homme et C.N.R.S., Paris, 1er octobre 1996. (Interventions dans les débats].

- *Science, pouvoir et démocratie. Pour une science responsable, Colloque en hommage à Martine Barrère*, Sénat, Paris, 4-5 octobre 1996 (Intervention dans les débats].

- *O Cartesianismo, 4e Encontro de Évora sobre Historia e Filosofia da Ciência*, Descartes, Evora, Portugal, 14 novembre 1996. (Conférence invitée : Mathesis universalis e intelligibilidade em Descartes, cf. [1998c] ; Intervention dans les débats).

- *Seminario en conmemoración de los 400 años del nacimiento de René Descartes*, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá (Colombie), 28-

29.11.1996. (Conférence invitée: Mathesis universalis y inteligibilidad en Descartes, cf. [1997e] ; Interventions dans les discussions].

- *Forum Racisme et mondialisation. Vers une éducation de l'antiracisme*, ADAPES, Palais du Luxembourg, Paris, 17 décembre 1996. (Communication : Les discours sur les races et la science, cf. [1997j]).

- *Journée Archives de la création*, Départements IN2P3/SHS, CNRS, Paris, 2 juin 1997 (Exposé : Epistémologie de la physique subatomique).

- *Paul Langevin, son œuvre et sa pensée*, Paris, 12-13 juin 1997 (Organisation avec Bernadette Bensaude-Vincent, Martha-Cecilia Bustamante, Olival Freire ; Conférence : Poincaré, Langevin et Einstein, cf. [2002c] ; Intervention dans les discussions ; Participation à une Table-ronde).

- *Colloque Cosmologie et philosophie, en hommage à Jacques Merleau-Ponty*, Paris, 6-8 octobre 1997 (Exposé invité : Cosmologie et matière quantique, le 7.10, cf. [2000c]).

- *X Colóquio de História da Ciência : Universalidade, objectividade e progresso da ciência*, Campos de Jordão (S.P., Brésil, 9-12 septembre 1997), Colloque organisé par le Centro de Lógica e Epistemologia de l'Unicamp (Campinas, S.P.) et par le Departamento de Filosofía (FFLCH) de l'USP. (Conférence invitée : A universalidade da ciência : uma ideia filosófica sumetida á prova da história, le 11.9.1997, cf. [1997d] ; Minicurso : voir Cours).

- *Vivre ensemble : Eduquer, informer, sensibiliser contre le racisme et favoriser le lien social*, Colloque organisé par l'ADAPES avec le soutien du Fonds d'Action sociale, du Ministère Educ. Nat., de la Sonacotra, et le parrainage du Conseil Economique et Social, Conseil Economique et Social, Paris, 17-18 décembre 1997 (Président et rapporteur de la Table-ronde « Vivre ensemble, favoriser le lien social », le 18.12)

- *Simpósio David Bohm. Fundamentos da Física*, Instituto de Estudos Avançados (IEA) e Instituto de Física (IFUSP), Universidade de São Paulo, 21-25 septembre 1998 (Conférence invitée : Separabilidade local e determinismo na interpretação de Einstein da mecânica quântica (Séparabilité locale et déterminisme dans l'interprétation d'Einstein de la mécanique quantique), le 23.9.- Introdução á Mesa-redonda « A fronteira entre o clássico e o quântico », le 21.9 ; Contribution en coll. avec Olival Freire Jr et Alberto L. da Rocha Barros, prés. par O. Freire : Sobre a recepção do programa causal de David Bohm, le 24.9, cf. [2000g]).

- *Journées d'étude : Le choix d'un itinéraire dans la recherche*, CNRS, Gif-sur-Yvette, 15-17 septembre, 6-8 octobre 1998 (Exposé : Vérité, objectivité, nouveauté dans la recherche et les critères d'évaluation, le 6.10].

- *Journée Physique et probabilité*, Séminaire d'Histoire des Sciences Mathématiques et Physiques (EHESS et Université de Provence) et Association Méditerranée et Histoire des Sciences, Marseille, 21.10.98. (Exposé invité : Physique quantique et probabilité].

- *Journée sur la relativité,* Université Libre de Bruxelles, Bruxelles (Conférence invitée : Les trois stades du principe de relativité, le 14.11.1998, cf. [1999h]).

- *International Symposium From duality to Unity : 75 years of Wave-Particle Duality*, India National Centre, New Delhi, 28-31 december 1998. (Invited conference : Interpretations and Significations in Quantum Physics ; Member of the Scientific Organization Commitee).

- *Conference on the philosophy of Marx Wartofsky*, New School University, New York, March 1999 (Invited Conference : The Idea of Quantity at the Origin of the Legitimacy of Mathematization in Physics, cf. [2003h]).

- *Deuxième Journée de Philosophie des Sciences Jean Largeault*, Universités de Paris-Sorbonne (Paris-4), Paris 1-Panthéon-Sorbonne, Marc Bloch-Strasbourg-2 et Institut Universitaire de France, Paris, 7 Mai 1999 (Exposé invité : La notion de grandeur et la légitimité de la mathématisation en physique, cf. [2001h]).

- *Stochastic Dependence and Causality*, Universitá di Bologna Conference Centre of Bertonoro di Romagna, 20-22.9.1999. (Exposé invité . Physical meaning of probability for quantum states, le 21.9, cf. [2001d]).

-*Colloque « Le neuf est-il prévisible »*, ADAPES, Maison de l'Amérique latine, 12.1.2000. (Exposé : « Remarques sur la nouveauté. Neuf aphorismes sur le neuf », cf. [2000l]).

- *Colloque « La science, la philosophie et l'art »*, Université de Douala, Cameroun, mars 2000. (Conférence invitée : Esthétique ou épistémologie ? L'invocation de l'harmonie dans les ressorts de l'invention scientifique).

- *Colloque « Les grands rendez-vous de la science et de l'histoire »*, Palais de la Découverte et UNESCO, Paris, 20-25 mars 2000 (Conférence invitée à la séance de clôture sur *« L'Histoire des sciences dans le atrimoine mondial »* : Intelligibilité et historicité. Science, rationalité, histoire, le 25.3, cf. [2001a]).

- *Journée « La pensée de l'espace de Gilles-G. Granger »*, Université de Provence-Aix-Marseille-1, Aix-en-Provence, vendred 7 avril 2000 (Exposé invité : Réflexions sur la philosophie de l'espace selon Gilles-G. Granger, et sur la physique contemporaine. En quel sens la pensée physique peut-elle dépasser le concept d'espace ?).

- Table-ronde *Mesa redonda de Homenagem à Professora Maria Laura Mouzinho Leite Lopes por sua contribuição à matemática brasileira*, Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST/CNPq), Rio de Janeiro, 22 de maio de 2000 (Participants : Lucia Tinoco, Maria Yeda Linhares, Moéma Sá Carvalho, Maurício Mattos Peixoto, Michel Paty, Tatiana Roque, Henrique Lins de Barros). (Intervention : Aprofundamento da matemática, alargamento da racionalidade. Para dar sequência à conversas passadas com Maria Laura sobre matemática e física).

- *Journée d'Etudes sur « Mach. Physique et physiologie »*, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 8 juin 2000 (Exposé : De la critique des concepts d'espace et de temps de la physique classique au « principe de Mach » : L'influence de la pensée de Mach sur Einstein).

- *Journée de fin d'année universitaire de l'Equipe REHSEIS*, Paris, 28 juin 2000 (Organisation et présentation).

- *Congreso Nacional de Matemáticas/2000*, Santa Fé de Bogotá (Colombie), 14-18 août 2000 (Conférence magistrale invitée : El cálculo diferencial y el pensamiento de los principios de la dinámica en la obra de d'Alembert, cf. [à paraître,z] ; Conférence publique :¿ Son los sistemas quanticos objetos fisicos con propiedades físicas ? ; Participation au « Panel-Mesa Redonda » (Table-ronde) de la séance finale du Congrès sur *« La Educación matemática y la práctica de las matemáticas »*, cf. [2000s]).

- *Journée de rentrée universitaire de l'Equipe REHSEIS*, Paris, 10 octobre 2000 (Organisation et présentation).

- *Symposium « Physique et physiologie chez Ernst Mach (1838-1916) »*, Académie Helmholtz et Université Catholique de Louvain-la-Neuve, 12-13 octobre 2000 (Conférence : Ernst Mach, les concepts physiques et leur forme mathématique. Une minimisation de la portée des mathématiques en physique, le 12 oct., cf. [à paraître,ee]).

- *International Congress « 100 years of quantum mechanics »*, Madrid, 22-25 novembre 2000. (Conférence invitée : La fisica quantica, o el arrastre del pensamiento fisico por las formas matematicas, en espagnol, le 22.11, cf. [2002f]).

- *VII Congreso Mexicano de Historia de la Ciencia y la Tecnologia*, Pachuca, Mexique, 26-29 novembre 2000. (Communication invitée au Simposio Alexander von Humboldt y la Historiografía de la Ciencia *« Ciencia y diversidad cultural. Science and Cultural Diversity »* : Reflexiones sobre las relaciones entre la inteligibilidad y la historicidad en las transmisiones y las criaciones de conocimientos cientificos, le 28 nov. ; texte de travail : Incidences on the philosophy of science of the historiographical thema « Science and cultural diversity », Some remarks, cf. [2001b]).

- *Journées d'Epistémologie*, Institut Henri Poincaré, Paris, 5-6 décembre 2000 (Co-organisation avec Roshdi Rashed et Michel Serfati. Conférence : Les systèmes quantiques sont-ils des objets physiques ayant des propriétés ?, le 5 déc.)

- *Séminaire « Histoire et prospective des quanta. Centenaire de la découverte des quanta »*, Palais de la Découverte, Paris, 14 décembre 2000. (Participation invitée à la Table-ronde *« Les questions posées par la découverte des quanta »* : La physique quantique ou l'entraînement de la pensée physique par les formes mathématiques, cf. [2002f]).

- *Rencontre « L'espace physique, entre mathématiques et philosophie »*, Centre d'Etudes de Cargese, 29 janvier-3 février 2001. (Conférence invitée : L'espace physique vu du monde quantique. Une approche épistémologique, cf. [2004f]).

- *Conférence « Une physique et une chimie françaises (1900-1918) ? »*, Université Paris 10-Nanterre, 1-2 mars 2001. (Exposé : « Mécanique nouvelle » et « nouvelle physique », ou les mathématiques de la dynamique et la pensée de la physique, le 1.3).

- *XXI rst International Congress of History of Science / XXI è Congrès International d'Histoire des Sciences*, México (Mexique), 8-14 juillet 2001 (Co-organisation avec Claude Debru du *« Symposium thématique S23 : Changes in*

interpretation and conceptual contents. Changements dans l'interprétation et contenus conceptuels », voir III.3.2 ; Exposé au *« Symposium Science and Cultural Diversity »* : The question of rationality in front of the diversity of knowledge pratices, le 14-7, cf. [à paraître,e]).

- *Simposio « Medir. Figuras, palabras, raíces… »*, Facultad de Ciencias, UNAM, México (Mexique), 17 juillet 2001 (Conférence : La idea de magnitud a la origen de la legitimidad de la matematización de la fisica).

- *II° Congresso Principia*, Florianopolis (SC, Brésil), 6-10 août 2001 (Conferencia inaugural : Os conceitos da física : conteúdos racionais e construções na história. Les concepts de la physique : contenus rationnels et constructions dans l'histoire, le 6.8, cf. [2001k]).

- *Encontro Interdisciplinar sobre a epistemologia das relações entre a física e a matematica, COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro*, Brésil, 22 août 2001 (Conférence : A noção de grandeza e a legitimidade da matematização da física).

- *Observation and Experiment in the Natural and Social Sciences*, International Workshop org by the European Foudation Scientific Network, Bertinoro di Romagna (Italie), 28 sept.-2 oct. 2001 (Membre du Comité d'organisation. Participation aux discussions).

- *Journée D'« Alembert à Berlin »*, Ecole Normale Supérieure, rue d'Ulm, Paris, 9 novembre 2001[50]. (Exposé : Notes sur les vents alizés et sur la résistance des fluides dans les recherches de d'Alembert (Sur quelques aspects de deux mémoires soumis aux concours de l'Académie de Berlin en 1746 et 1749).

- *Journées doctorales du Séminaire « Nature et loi »*, Université de Tours, journée du vendredi 11 janvier 2002[51]. (Exposé : La question des lois et de l'objectivité en physique quantique).

- *Rencontres Physique-mathématique-philosophie : « Espace et physique »*, Centre scientifique de Cargèse (Corse, Fr), 25 février-2 mars 2002 (Exposé : Invention et origines de la quatrième dimension de l'espace-temps, le 26 février, cf. [à paraître, ff]).

- *Journée « La causalité »*, *de l'Ecole Doctorale Savoirs scientifiques*, Université Paris 7-Denis Diderot, 13 mars 2002 (Exposé : Causalité et déterminisme en physique : physique classique, relativiste et quantique. Tribulations et différences, cf. [à paraître,n]).

- *Colloque « Επιστεμεσ χαι Θρησκεια »* (*Epistemes xai Treskeia*, *Sciences et religions*), Revue *Υτοπια* (*Utopia*), Athènes, Grèce, 22-23 mai 2002 (Exposé invité : Le mythique et le rationnel dans les « théories limites » de la science contemporaine, le 23.5, cf. [à paraître,w]).

- *Journée d'études « Interfaces entre physique et biologie : questions pour*

---

[50] Organisée par Pierre Pénisson, avec Claude Imbert et Francine Markovics.

[51] Organisée par Joel Biard.

l'épistémologie », Université Paris7-D. Diderot, mardi 4 juin 2002 (Contribution aux discussions).

- *Induction and deduction in Science*, Wien (A), juillet 2002. (Discutant : Remarks about a general science of reasoning, cf. [2003f]).

- *1º Congresso Internacional de Divulgação Científica* (UNESCO, Associação Brasileira de Divulgação Científica (ABRADIC) e Reitoria da USP), São Paulo (Br), 26-29 de agosto de 2002, (Conférence invitée : A ciência e as idas e voltas do senso comun, le 27.8, cf. [2003i]).

- *Symposium international « Aperçus philosophiques en logique et en mathématiques : Histoire et actualité des théories sémantiques et syntaxiques alternatives. Philosophical insights into Logics and Mathematics »*, Nancy (Fr), 30 sept-4 oct 2002 (Contribution dans la Session Philosophie des mathématiques : Des fondements vers l'avant. Sur la rationalité des mathématiques et des sciences formalisées, le 1.10, cf. [à paraître,h]).

- *Symposium « Histoire et Philosophie des Sciences : vers une nouvelle alliance ? »*, Symposium de la *Joint Commissio*n de la Division d'histoire des sciences et de la Division de logique, méthodologie et philosophie des sciences, Union internationale d'histoire et de philosophie des sciences, Ecole normale supérieure, Paris (Fr), 3-5 octobre 2002. (Participation aux discussions ; Présidence d'une session, le 3.10).

- *Colloque des Sciences Arabes*, Damas (Syrie), 1-4 novembre 2002. (Conférence : Rationalités comparées des contenus mathématiques. Sur les travaux de Roshdi Rashed, ou La philosophie dans le champ de l'histoire des sciences, le 1.11, cf. [à paraître,y] ; Remarques à la Table-ronde de conclusion, le 4.11).

- *Semaine de travail sur les Contributions à l'astronomie et aux mathématiques chez d'Alembert*, Centre International de Mathématiques, Luminy-Marseille, 6-10 janvier 2003 (Exposé : L'élément différentiel de temps et la causalité physique dans le *Traité de dynamique* de Alembert, le 8.1).

- *Colloque « Science, innovation technologique et société »*, Université de Dijon, 30 janvier-1er février 2003 (Participation invitée à la Table-ronde introductive, avec Eric Brian et Pierre Jacob : Histoire, philosophie, sociologie des sciences, regards croisés, le 30.1 ; Participation aux travaux et discussions).

- *V Coloquio Internacional de Estudos do Século XVII*, *« Experiência e razão no século XVII. Em homenagem ao Professor Lívio Teixeira »* Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofía, Letras e Ciências Humanas, São Paulo, 26-28 août 2003 (Exposé invité : *Da causa eficiente à causalidade física (séculos XVII e XVIII*), le 28.8, en portugais).

- *III International Symposium Principia*, Florianópolis (SC, Brasil), 8-11 de Septembro 2003 (Conférence invitée : Novidade e emergencia na procura dos fundamentos. Nouveauté et émergence dans la quête des fondements, prononcée en portugais, le 9.9).

- *Coloquio da Sociedade Brasileira de História da Ciência* (SBHC), Rio de

Janeiro, RJ, Br, 8-10 oct. 2003. (Conférence invitée : *Formas de racionaldidade na história das ciencias e das culturas*, le 9.10, en portugais).

- *Filosofia, Ciências e História : Um colóquio dedicado a Michel Paty por ocasião dos 40 anos de sua colaboração com o Brasil*, 24 de novembro, Instituto de Estudos Avançados (IEA) da Universidade de São Paulo (USP). (Palavras finais : Agradecimentos. Sobre a reflexividade da ciência e o Brasil).

- *Colloque « L'Emergence de la physique moderne, à l'occasion du 100è anniversaire de la publication de l'Evolution de la mécanique (1903) de Pierre Duhem »*, Centre de Recherches Paul Pascal (Pessac), CNRS et Université de Bordeaux 1, Bordeaux, 3-4 décembre 2003. (Conférence invitée : Théorie physique et perspectives unitaires au début du xxe siècle, le 3.12).

- *Rencontre interdisciplinaire sur la causalité, Institut d'Etudes Scientifiques de Cargese* (Corse-du-Sud), 17-21 fév. 2004). (Exposés : La genèse de la causalité physique, 18 fév. 2004 ; La notion de déterminisme et ses limites, 19 fév. 2004).

- *Workshop on Time Arrow-La Flèche du temps*, Louvain-la-Neuve, 7-8 mai 2004 (Conférence : The course of time. Physical time and cosmological time (Le cours du temps. Temps physique et temps cosmologique, le 7 mai).

- *Colloque sur La philosophie de la nature*, Observatoire de Paris-Meudon (IAP), 13 et 14 mai 2004 (Conférence : Fondements et rationalité, le 13 mai).

- *Hommage à Roshdi Rashed*, Institut de Monde Arabe, Paris, 15 juin 2004 (Allocution : Sous le signe de la raison et de l'histoire humaines).

- *Colloque Jacques Merleau-Ponty : l'homme et le philosophe*, Faculté des Sciences Humaines, Université de Tunis, Tunisie, 7-9 octobre 2004 (Conférence de clôture : La nature du temps cosmologique selon Jacques Merleau-Ponty, 9 oct.).

- *Congresso Nacional da ANPOF*, Salvador (Ba), 18-22 de outobro de 2004 (Conférence : Criatividade científica e racionalidade, dia 19.10).

- *Encontro Tematico, Departamento de Filosofía, Universidade Estadual de Santa Cruz*, Ilhéus (Ba, Brésil) (Conferencia : A Cosmologia como ciência e o problema do tempo), 14 octobre 2004.

- *Congrès Spinoza, Athènes*, décembre, 2004. (Invité, absent. En mon absence, le texte envoyé : « Le spinozisme d'Einstein.- Einstein's spinozism » a été lu).

- *Colloque Henri Poincaré « Science et pensée »*, Ecole des Mines, Sophia-Antipolis, lundi 17 janvier 2005. (Conférence : « Pensée rationnelle et création scientifique chez Poincaré » , Table-ronde 1 ; Exposé supplémentaire, Remarques sur la philosophie de Poincaré, *ibidem*, Table-ronde 4).

- *Colloque Kant et le calcul infinitésimal*, Université de Nancy-2, Nancy (France), 18-19 février 2005 (Conférence : « Structures du rationnel et grandeurs mathématiques dans la philosophie kantienne », le 19).

- *Journée Jules Verne (1828 – 1905) ou « la science en drame »*, Centre François Viète d'histoire des sciences et des techniques de l'université de Nantes, Muséum d'Histoire Naturelle de Nantes, vendredi 4 mars 2005 (Présidence de la Journée ;

Exposé de conclusion : « Conclusion de la Journée »).

– *3º Encontro da Rede Paranaense de Pesquisa em História e Filosofia da Ciência*, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (Pa, Br), 16-18 de março de 2005. (Exposiçã na mesa redonda inaugural : « A ciência como conhecimento em movimento » ; Conferencia na sessão de encerramento : « A teoria da relatividade de Einstein como exemplo de criação científica »).

- *Congrès International d'Histoire des sciences, Beijing (Pékin)*, 25-30 juillet 2005. Participation au Symposium « Einstein in context », 26-27.07. Exposé : « Einstein's scientific style in the exploration of the quantum domain (a view on the relationship between theory and ist object) » (le 27.07).

- *4° Simposio Internacional Principia*, Florianopolis, 8-13 août 2005. (Conférence : « E o racional estruturado matematicamente ? » , le 8).

– *Seminário Internacional « Einstein para além do seu tempo », Museu de Astronomia e Ciencias Afins (MAST), Rio de Janeiro*, Br, 1-2 septembre 2005. (Conférencia : « Einstein e a física quântica no periodo da sua viagem na America latina », le 2.9).

- *Seminario Paulista de História e de Educação Matemática, Instituto de matemática e de Estatística*, Universidade de São Paulo (Brésil), 10-12 de outubro de 2005 (Conferencia de encerramento (clôture) : Einstein e o papel da matemática em física, le 12.10).

- *X Simpósio de Filosofia Moderna e Contemporânea da UNIOESTE*, Toledo, Parana (Brésil), 24-28 oct. 2005 (Conferencia : « Criatividade científica e racionalidade », le 25).

- *Simposio internacional Einstein : científico, filósofo e humanista. Centenario de uma visión del mundo*, Cali, Colombie, 28 de novembre- 2 de diciembre de 2005 (« Convidado especial », Conferencia inaugural **: «** Einstein 1905 : Inteligibilidad racional y criación científica », le 26 ; Séminaire-Cursillo, le 29.10).

- *Colloque La science einsteinienne : ses origines, son contenu et sa portée*, Faculté des Sciences Humaines**,** Université de Tunis (Tunisie), 13-15 décembre 2005.(Conférence : Champ continu et quanta : Les deux approches théoriques de la matière selon Einstein, Conférence, le 15).

- *Symposium sur les conséquences philosophiques des théories d'Einstein*, Athènes (Grèce), 19-20 décembre 2005 (Conférence : Einstein et la philosophie de la matière, le 20).

- *V Encontro da Associação de Filosofia e História do Cone Sul (AFHIC)*, Florianopolis (SC, Brasil), 22 a 25 de maio, 2006 (Conferência plenaria : O curso do tempo. Tempo físico e tempo cosmológico, le 24).

- *Rencontres de Cargèse sur « Temps et irréversibilité »*, Institut Scientifique de Cargese (Corse du Sud, France), 16-19 avril 2007 (Exposé : L'irréversibilité des phénomènes et le cours unidirectionnel du temps, le 17.04).

- Colloque *« Quelle histoire font les historiens des sciences et des techniques? »*, Lille, 23-25 mai 2007 (Conférence invitée**:** Du

style en histoire des sciences, le 24).

[- *Coloquio Principia*, Florianopolis, 6-9 agosto de 2007. (Conférence plénière invitée : Conhecimento simbólico e realismo crítico. Empêché, j'ai dû renoncer à y participer, mais il y a une contribution écrite pour publication).]

- *Simposio Ciência e Iluminismo*, Maringa (Parana, Brésl), 24-27 de setembro de 2007 (Conferencia inaugural : D'Alembert e a matematização da física no século XVIII, dia 24).

- *Journée « Auguste Comte, la science et la société »*, patronnée par la Maison d'Auguste Comte, Salle des Actes de l'Université Paris-IV-Sorbonne, le 6 octobre 2007 (Contribution invitée : Auguste Comte et la dynamique).

- *XIV Foro Nacional de Filosofia*, Barranquilla, Colombie, 14-16 de noviembre de 2007 (Conférence invitée, inaugurale : Conocimiento simbólico y realismo crítico, le 14.11).

- *Colloque « Michel Paty, philosophe et historien des sciences »*, Université de Tunis, Tunisie, 22-24 novembre 2007 (Intervention de réponses et mises au point ; Conférence de clôture : La connaissance scientifique comme pensée symbolique. Quelques implications philosophiques et épistémologiques de ce point de vue, le 24.11).

Prévu en 2008 :

- *Coloquio « As Origens da vida », São Paulo Scientific Conferences*, São Paulo, 19-21 juin 2008. (Conférence invitée : A dimensão cosmologica da questão da origem da vida, le 20.6 ; également, coordination-présidence de la session « 2 : A origem do Universo. Cosmologia, o sistema solar, a Terra antes da vida », le 19.6).

III.7. CONFERENCES ET EXPOSES A DES SEMINAIRES

(Voir également les exposés à des colloques, en III.2.2 et III.6, ainsi que les enseignements, III.4)

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 :
  - *Instituto de Física, Universidade 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 Cornnittee*, CERN, Genève, nov. 1975.

- Beam dump experiment in neutrino beam, Séminaire, *Inst. de Phys. de l'Université de Leuwen (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, 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,
  - *Lab. de Physique*, 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 desegualdades de Bell e as experiências de correlaçao à distancia, Séminaire :
  - *Univ. Fédéral de Sta Catarina*, Florianópolis (SC), Brésil, 27 agosto de1982.
  - *Inst. de Física*, Univ. de Campinas (Unicamp), Brésil, 1^0 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, *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. 1979[52]. (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'Alemhert par rapport au matérialisme, Séminaire (2 h.) au *Groupe de Recherche sur l'Histoire du matérialisme* et *DEA d'Histoire des systèmes de la pensée moderne*, UER de philosophie, Université de Paris-1, le 1er 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 conceições epistemológicas de Prigogine, Séminaire, *Instituto de Física, Universidade Fédéral do Rio de Janeiro (UFRJ)*, Brésil, 16 agosto de 1982.

- A noção de programa epistemológico e a física contemporânea, Séminaire :
  - *Depto. de Filosofia*, Univ. de São Paulo (USP), Brésil, 25 agosto de 1982.
  - *Instituto de Filosofía*, Univ. Fed. do Rio de Janeiro (UFRJ), Brésil, 20 set. de 1982.
  - *Deptº de História*, Univ. de Sao Paulo, USP, Brésil, 29 set de 1982.

---

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

- *Observatório Nacional*, Rio de Janeiro, Brésil, 1^0 outobro de 1982.

- Problemas de epistemología da mecânica quântica, Séminaire, *Universidade Federal Fluminense*, Niteroi, R.J., Brésil, 3 set. de 1982.

- Prohlemas de filosofia e de história da ciência, Séminaire, *COPPE, Faculdade de Engenheria*, 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.
  - *Institut de Philosophie, Université des Sciences Humaines*, Strasbourg-2, 4 mai 1983.

- The place of mathematics in the physical thought at the classical age: d'Alembert. Conférence, *Department of mathematics, Osmania University*, Hyderabad (Inde), 28.1.1985. [53]

- D'Alembert, science and philosophy at the time of the *Encyclopaedia*, séminaire, *National Institute of Science, Technology and Development Studies* (NISTADS), New Dehli (Inde), 31.1.1985.

- La philosophie d'Einstein. Exposé au *Séminaire du Groupe de recherche sur l'histoire du matérialisme*, U.E.R. de philosophie, Université de Paris I-Panthéon-Sorbonne, 9.2.1985.

- Réflexions sur les notions d'ordre et de sens dans l'univers. Exposé au *Séminaire du Centre Sèvres*, Paris, 6.3.1985.

- La notion de particule virtuelle, Exposé dans la série de *Séminaires sur Mathématique, métaphysique, physique*, Collège International de Philosophie, à l'ancienne Ecole Polytechnique, 20 mars 1985[54].

- Einstein face à l'hypothèse des quanta, conférence, *Centre B. Franklin, Université de Technologie de Compiègne*, mardi 16 avril 1985.

- Les objections d'Einstein à la mécanique quantique, exposé à la *Journée sur la Complémentarité, Groupe de travail sur la physique contemporaine "Au pêcheur d'Eddington"*, Collège de France, Paris, 20.4.1985.

- Participation à une *Table-ronde sur "La nature d'une politique d'action culturelle dans les domaines scientifique, technique et économique", dans le cadre du séminaire sur la politique scientifique, technique et économique (Ministère de l'Education Nationale, Mission de l'Action culturelle)*, Musée des Sciences et Techniques de la Villette, Paris, 24 .4.1985.

- Participation à une *table-ronde sur "Einstein aujourd'hui"*, entre MM.

---

[53] Je n'ai pas retrouvé trace des séminaires donnés entre mai 1983 et janvier 1985.

[54] A l'invitation de Gilles Chatelet, qui nous a quittés prématurément en 2000.

Avramesco, Carmasol, Gerl, Guinier, Paty, Spiro. *Centre culturel scientifique, technique et industriel de Thionville*, 25.4.1985.

- A matematização da fisica contemporanea, Séminaire, Departamento de Matemática, Universidade Federal do Rio de Janeiro (Brésil), 6 août 1985.

- Einstein, o homem, o fisico e o filosofo, Séminaire, Departamento de Fisica, Universidade Federal do Rio de Janeiro (Brésil), 6 août 1985.

- A recepção de relatividade na França, 1900-1930, Séminaire, Departamento de História, Universidade de São Paulo (Brésil), 21 août 1985.

- Do indeterminismo à nao-localidade na mecanica quantica, Séminaire, Instituto de Fisica, Universidade de São Paulo (Brésil), 15 août 1985.

- Os trabalhos simultaneos sobre a relatividade restrita de Poincaré, Langevin e Einstein, Séminaire, *Observatório de Valongo, Universidade Federal do Rio de Janeiro* (Brésil), 22 août 1985.

- Le rôle de Poincaré et de Langevin dans l'élaboration et la diffusion des idées de la relativité restreinte. *Séminaire d'épistémologie et d'histoire de la physique de l'équipe REHSEIS*, Paris,18.11.1985.

- Méthodes en histoire des *sciences: problèmes, cas, concepts. Le cas de la relativité restreinte. Cours de DEA d'Epistémologie et d'Histoire des Sciences*, Université de Paris 7, Paris, nov.-déc. 1985, janvier 1986. (12 h. de cours).

- Les travaux simultanés de Poincaré, Langevin et Einstein sur la Relativité restreinte. Séminaire, *au Groupe de travail sur la physique contemporaine "Au pêcheur d'Eddington"*, Laboratoire de physique Corpusculaire, Collège de France, Paris, 9-1-1986; également, au *Laboratoire et DEA de Didactique*, Université Claude Bernard - Lyon I, Institut de Physique Nucléaire de Lyon, 29.1.1986; également à l'ENSM (Ecole Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques), Besançon, 17.3.1986; également au Dipartimento de fisica, Università di Napoli (Italie), 27.5.1986.

- Un problème d'histoire des sciences. La relativité restreinte: la théorie et son objet. Conférence à l'*Ecole de printemps du CNRS en histoire des sciences*, Garchy (Nièvre), 4-9 avril 1986 (6 avril).

- The nature of Einstein's objections to the Copenhagen interpretation of quantum mechanics. Exposé, *Israel Colloquium on the philosophy and history of science*, Tel-Aviv university (Israel), 27 mai 1986.

- Poincaré's and Langevin's works on special relativity contemporary to Einstein's. Séminaire, *Philosophy department, Tel-Aviv University* (Israel), 3 juin 1986.

- Mathematics, physics and reality, Séminaire, Department of physics and mathematics, *Birzeit University* (Palestinian territory), 31 mai 1986.

- A natureza das objeçoes de Einstein a interpretação da mecanica quantica, Séminaire, *Centro Brasileiro de Pesquisas Fisicas, Rio de Janeiro*, 28 nov.1986.

- Uma categorizaçao epistemologica: a relação da teoria a seu objeto, Séminaire :
  - *Departamento de Filosofia, USP, Universidade de São Paulo*, 2.12.1986.
  - *Centro de Lógica, Epistemologia et Filosofía da ciência*, Unicamp,

Universidade de Campinas, 4 déc. 1986.

- La non-séparabilité locale et l'objet de la théorie physique, séminaire, *Collège international de Philosophie* (Ancienne Ecole Polytechnique), Paris, 9 janvier 1987.

- Les grandes lignes de l'évolution de la physique depuis la seconde guerre mondiale. Exposé, *Séminaire d'histoire du CNRS, Centre de recherche sur l'histoire des mouvements sociaux et du syndicalisme*, université Paris I, 9.2.1986.

- Réalité, complétude, localité, déterminisme, dans les objections d'Einstein à la mécanique quantique, *Séminaire de spécialité sur l'épistémologie et l'histoire de la physique, Equipe REHSEIS du CNRS*, Paris,13.2.1987.

- D'Alembert et les probabilités, exposé au *Séminaire sur l'histoire du calcul des probabilités*, *Centre A. Koyré et Centre d'Analyse et de Mathématiques Sociales*, E.H.E.S.S., Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 6.3.1987.

- Einstein e o pensamento de Newton, séminaire :
  - *Instituto de Física, UFRJ (Univ. Fed.)*, Rio de Janeiro, 22 septembre 1987.
  - *Instituto de Fisica, USP, Université de São Paulo*, 6 octobre 1987.

- Observações epistemologicas sobre o objeto comun de fisica das particulas e da cosmologia, *Instituto de Fisica, USP, Universidade de São Paulo*, 2 octobre 1987.

- A novidade e sua referencia: sobre as relaçoes entre ciencia e filosofia, *Departamento de Filosofia, USP, Universidade de São Paulo*, 9 octobre 1987.

- Einstein et la pensée de Newton, Séminaire :
  - *Séminaire Science, histoire, société,* Institut de Recherches Mathématiques,Université de Rennes I, 22.3.1988.
  - *Séminaire REHSEIS, Epistémologie et histoire de la physique,* C.N.R.S. et Université Paris 7, 2.6.1988.

- Atome, électron et relativité. La physique vers 1905. Conférence dans le *Cycle d'histoire des sciences* « *Atome et nucléaire* », Palais de la Découverte, Paris, 23.3.1988.

- La philosophie dans la science : Einstein et les physiciens-philosophes. *Séminaire sur les fondements des sciences*, Université de Strasbourg I, 27.5.1988.

- Les savants, de l'*Encyclopédie* à la Révolution, Conférence dans le cycle de l' *Exposition Avant-Première, organisée par la D.I.S.T. du Ministère de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur,* Cité des sciences et des techniques, Paris, 6.6.1988.

- L'Univers, de l'infiniment petit à l'infiniment grand. Certitudes et incertitudes de la science. *Table ronde* avec Marcel Froissart, Michel Paty, Michel Cassé, Mario Novello, Edgar Elbaz, Martine Barrère, Centre culturel de Villeurbanne, l6 juin 1988.

- O programa de pesquisa da equipe REHSEIS e o projeto Ciência et imperios. Séminaire, *Museu de Astronomia, MAST, Rio de Janeiro*, 3.8.1988.

- A influência da experiência de Michelson e Morley sobre o pensamento de

Einstein. Conférence, *Museu de Astronomia, MAST*, Rio de Janeiro, 4.8.1988.

- O nascimento conjunto da ciência e da filosofía no trabalho cientifico de hoje. Séminaire, *Grupo de Sémiótica, Pontificia Universidade Católica (PUC)*, Sao Paulo, 17.8.1988.

- Les savants, de l'Encyclopédie à la Révolution, conférence dans le cadre de la *3 ème Semaine culturelle européenne*, Ecole supérieure Estienne des arts et industries graphiques, Paris, 14-18 novembre1988 (16.11.1988).

- Participation à la table ronde *Mathématiques et société*, avec C. Houzel, G. Israel, P. Nastasi, M. Panza, M. Paty, D. Pestre, *Colloque Les mathématiques italiennes et françaises entre les deux guerres*, Institut culturel italien, Paris, 6-7 décembre 1988 (6.12.1988).

- Programme réaliste et physique contemporaine. Séminaire, *CREA (Centre de recherche en épistémologie appliquée)*, Paris, 6.1.1989.

- Einstein et l'expérience de Michelson-Morley, *Séminaire d'Epistémologie et histoire de la physique, Equipe REHSEIS*, Paris, 12.1.1989.

- Trois conceptions des rapports entre mathématiques et physique dans les approches de la relativité restreinte (Lorentz, Poincaré, Einstein), *Séminaire à l'Equipe REHSEIS*, Paris, 28.2.1989.

- Les scientifiques pendant la Révolution française: Condorcet, Lazare Carnot, etc., Conférence, dans le cycle *Bicentenaire de la Révolution française*, Ecole normale mixte des Ardennes, 1.3.1989.

- Fundamentos filosoficos da atividade cientifica, Conférence, *Ciclo de formação dos administradores de ciência e tecnologia, Fundação e Instituto de Administração*, Universidade de São Paulo, 5.6.1989.

- As relações Brasil-França diante da integração europeia, Débat (avec la participation de Mario Carelli, Robert Richard, M.P., João Chaves, Leyla Perrone Moisés), *Instituto de Estudos Avançados, Universidade de São Paulo*, 31.8.1989.

- Physique et géométrie: Einstein et Poincaré, Séminaire, *Centro de Logica e Epistemologia, UNICAMP, Universidade de Campinas* (Brésil), 13.9.1989.

- D'Alembert, entre Descartes e Newton, Conférence, *5° Coloquio de historia da ciência : A ciência no século das luzes*, Centro de Logica, epistemologia e historia da ciência, Unicamp (Universidade de Campinas, Brésil), Vinhedos (S.P., Brésil), 23-25 octobre 1989 (25. 10.1989).

- Interprétation physique de la géométrie ou construction géométrique de la théorie physique : les débats philosophiques et la relativité. Exposé à la *Journée REHSEIS*, *Physique et géométrie*, Equipe REHSEIS (CNRS), Paris, 9 janvier 1990.

- Einstein, la physique et la philosophie: quelques aspects. Exposé, *Commission d'histoire des sciences, Société française de physique*, Paris, 25 janvier 1990.

- Einstein, matematica, fisica e filosofia (1. A filosofia na invenção da relatividade restrita. - 2. Einstein e o debate sobre a decidibilidade experimental da geometria (relatividade geral, geometria e fisica).- 3. A estrutura das objeções

de Einstein a interpretação ortodoxa da mecanica quantica), Conférences, *Instituto de Estudos Avançados, Universidade de Sao Paulo* (Br), 24 mai 1990, 7 et 21 juin 1990.

- L'épistémologie d'Einstein, Séminaire, *Groupe d'Histoire des sciences et épistémologie, Université des sciences et des techniques de Lille Flandre Artois*, 5.10.1990.

- Filosofia da descoberta cientifica: campos de racionalidade, estilos cientificos, tradições e influencias, Conférence invitée au *4° Encontro de Historia e Saude*, Casa Oswaldo Cruz/FIOCRUZ, Rio de janeiro, 5-9 novembro 1990 (9 nov. 1990).

- Problemas atuais da epistemologia da ciência, Cours, Pos-graduação, *Faculdade de Direito, Universidade Federal de Florianopolis* (Brésil), 19.11.1990 (4 h.).

- A dimensão filosofica do trabalho cientifico, Conférence, *Faculdade de Direito, Universidade Federal de Florianopolis* (Brésil), 19.11.1990.

- A estrutura das objeções de Einstein contra a interpretação ortodoxa da mecânica quantica (realismo, completude, localidade, determinismo), Conférence, *Departamento de Fisica, Universidade Federal do Rio de Janeiro* (UFRJ), 28.11.1990.

- Statut de l'expérience et nature de l'objet théorique, Communication, *Colloque Les procédures de preuve, de validation et d'évaluation dans les sciences et les techniques: une approche historique*, Universités de Lille I et III, Lille, 11-13.4.1991 (13.4.1991).

- La dimension philosophique du travail scientifique, Conférence, *Journée d'action pour la philosophie: "Quel avenir pour la philosophie?"*, Université de Besançon, 17.4.1991.

- La structure des objections d'Einstein à l'interprétation de la Mécanique quantique: réalisme, complétude, séparabilité locale, déterminisme. Exposé au *Séminaire Epiphymath*, Université de Besançon, 23.5.1991.

- Crises et découverte en science, Conférence à la journée *Inconscient et construction des objets scientifiques*, Association Expérience Freudienne et Recherche Scientifique, Paris, 1.6.1991.

- Découverte et interprétation dans les sciences. Relation et distinction entre la science et la philosophie, Conférence dans le cadre du cours *Horizonte de la investigacion contemporanea, Cursos de Verano de la Universidade Complutense*, El Escorial, Madrid, 26-30.8.1991 (29.8).

- Experiencia e natureza do objeto teorico, *I Simposio Internacional « História da Ciência e Epistemologia »*, Piracicaba (S.P., Brésil), 9-11.10.1991 [11.10.91].

- Observações comparativas sobre a cientificidade das diciplinas : objetos e metodos. Conférence, *Curso de extensão universitaria « Pesquisa científica, saude e sociedade no Brasil », Insituto Butantã*, Sao Paulo, 30.10.1991.

- A endoreferencia das ciências formalizadas da natureza, Conférence, *Instituto de Estudos Avançados, Universidade de São Paulo* (Br), 5.11.1991.

- Formalismo e conteudo nas teorias fisicas, Conférence, *Forum de ciência e*

cultura, Universidede Federal do Rio de Janeiro (Br), 11.11.1991.

- Geometria e Relatividade restrita: Einstein e Poincaré, Séminaire, *Instituto de Fisica, Universidede Federal do Rio de Janeiro*(Br), 11.11.1991.

- Le caractère historique de l'adéquation des mathématiques à la physique, *Reunion Franco-Española de Historia de las matematicas. Rencontre Franco-Espagnole d'Histoire des Mathématiques*, Madrid, 18-22.11.1991 (le 22.11).

- Particules élémentaires et philosophie, Conférence, *Université de Lausanne*, 11.12.1991.

- Géométrie et Relativité restreinte: Einstein et Poincaré, *Institut de Physique Nucléaire, Université Paris-Sud, Orsay*, 6.1.1992.

- La institutionalización de la investigación cientifica, Conférences et débats, Séminaire-atelier *« Seminario-taller sobre la institucionalización de la inverstigación cientifica »*, *Instituto Colombiano para el Fomento a la Educacion Superior (ICFES)* Bogotà (Colombie), 20 et 21.1.1992 (conférencier du séminaire, 2 demi-journées).

- Geometria y fisica. Geometria no euclidiana y teoria de la relatividad : Einstein y Poincaré, Conférence, *Departamento de matematica y de fisica, Universidad Nacional del Valle, Cali (Colombie)*, 22.1.1992.

- Interventions comme « Asesor international » au *« Primer Symposio del Programa Nacional de Ciencias Basicas »* organisé par l'*Institut National COLCIENCIAS*, Buga (Colombie), 22-24.1.1992.

- Le rôle de l'expérience en physique. Séminaire *LIREST, Université de Paris VII*, 28.2.1992.

- Les arguments épistémologiques (Mach, Ostwald, von Helmholtz, Duhem, Boltzmann, etc.), *in* Journée 'La querelle du mécanisme et de l'énergétisme', *CIEEIST, Université de Paris XI*, Orsay, 18.3.1992.

- Formalisme et interprétation physique chez Schrödinger, Colloque *Erwin Schrödinger: philosophy and the birth of quantum mechanics*, Paris 18-20 juin 1992 (18.6.1992).

- Sur l'étude comparative de l'histoire de la diffusion et de l'intégration des sciences.- Sobre o estudo comparativo da história da difusão e da integração das ciências, Contribution à la Mesa redonda America : seculo XX, parte 2, *Congresso Internacional America 92 : Raízes e trajetorias*, São Paulo et Rio de Janeiro, 16-26.8.1992 (19 et 23.8.1992).

- Le voyage d'Einstein en Amérique du Sud en 1925 et la réception de la Relativité.- A viagem de Einstein na America do Sul em 1925 e a recepção da Relatividade, Contribution à la « Mesa redonda America : seculo XX, parte 2 », *Congresso Internacional America 92 : Raízes e trajetorias*, São Paulo et Rio de Janeiro, 16-26.8.1992 (20.8.1992).

- Signification physique et formalisation mathématique : Einstein et l'espace-temps de Minkowski, Conférence à l'*Institut Belge de Logique et de Philosophie des Sciences, Bruxelles*, 10 octobre 1992.

- Quelques figures de l'histoire de l'astrophysique et de la cosmologie, participation à la Table-ronde « Astrophysique et imaginaire », *Les Journées de Nature et Progrès « Marjolaine »*, Parc floral de Paris, 8.11.1992. C

- Einstein e a mecânica quântica, Séminaire, *Instituto de Física, Universidade de São Paulo* (Br), 27.11.1992. B

- Relação entre geometria e física na Relatividade geral, Séminaire, *Instituto de Física, Universidade de São Paulo* (Br), 1.12.1992. B

- Significação física e formalização matemática, Conférence, *Centro de Ensino e Didática, Universidade Federal de Santa Catarina*, Florianopolis (Brésil), 3.12.1992. B

- Einstein, David Bohm, Louis de Broglie e as variavéis esccondidas da mecânica quântica, Conférence, Centro de Física e Matemática, *Universidade Federal de Santa Catarina, Florianopolis* (Brésil), 4.12.1992. B

- Endoreferência de uma teoria formalizada da natureza, Séminaire, *Departamento de Filosofia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianopolis* (Brésil), 8.12.1992. B

- O formalismo de espaço-tempo de Minkowski no pensamento de Einstein, Séminaire, *Departamento de Filosofia, FFLCH, Universidade de São Paulo*, 9.12.1992. B

- Physical content and mathematical formalization: Einstein and Minkowski's space-time, Séminaire, *Département de Philosophie, Université de Lodz* (Pologne), 22.1.1993. B

- Einstein et la pensée de la matière, Conférence dans le cycle "*La matière*" *(Programme "Leibniz)*, Ministère de la Recherche, Paris, 29.1.1993. B

- Géométrie et relativité chez Poincaré, Conférence au séminaire *Histoire des mathématiques*, Union des Professeurs de Spéciales, Ecole Normale Supérieure, Paris, 3.2.1993. B

- Le véritable rôle du principe de Mach dans l'élaboration de la Relativité générale par Einstein, Séminaire *Critique de la science pure*, Département de Mathématiques et Faculté des Lettres, Université de Besançon, 25 mars 1993. B

- Einstein filosofo, Conférence organisée par le *Centro Internacional de fisica et l'Universidad pedagógica*, Ginasio moderno, Bogotà (Colombie), 19.4.1993. B

- Ciencia, cultura, ética y democracia, Table-ronde « Tertuliana », Rectorat, *Universidad nacional de Bogotá* (Colombie), Exposé et débat, 21.4.1993. B

- Einstein, David Bohm, de Broglie, Schrödinger: inseparabilidad y indeterminismo de la mecánica cuantica, Séminaire, *Departamento de Fisica, Universidad del Valle, Cali* (Colombie), 26.4.1993. B

- Ciencia, cultura, ética y democracia, Table-ronde, *Universidad del Valle, Cali* (Colombie), Exposé et débat, 21.4.1993. B

- Epistémologie et histoire des sciences. Recherche et enseignement, Intervention à la *Journée l'Histoire des sciences à l'IN2P3, IN2P3,* Paris, 4.5.1993. B

- Une réflexion sur les sciences et l'Amérique latine, Intervention à "*Colombie: carrefour de l'avenir", Premier forum scientifique en France de l'ACAST* (Association des chercheurs pour l'avancement des sciences et technologies en Colombie, Red Caldas), UNESCO, Paris, 14.5.1993. A

- Signification physique et formalisation mathématique: Einstein et l'espace-temps de Minkowski, *Séminaire de Philosophie, Introduction à l'histoire et à la philosophie de la physique contemporaine*, Ecole Normale Supérieure, Paris, 25.5.1993. B

- Einstein philosophe, Conférence, *Centre de recherches nucléaires, Strasbourg*, 27.5.1993. B

- Les conditions de la mathématisation de la physique chez d'Alembert, Séminaire d'histoire des mathématiques, *Institut Henri Poincaré, Paris*, 9.6.1993. B

- Prédicat d'existence et prédictivité d'un objet théorique en physique, Conférence invitée au *XI th. International Colloquium, The status of existence of 'hidden' physical entities (atoms, elementary partcles, etc.)*, Association F. Gonseth, Institut de la méthode, Société suisse de logique et de philosophie des sciences, Biel-Bienne (Suisse), 11-12.6.1993 (11.6). A

- La mécanique quantique, son histoire, sa philosophie, son interprétation, Conférence-débat, avec la participation de Françoise Balibar, Michel Bitbol, Catherine Chevalley, Nadine de Courtenay, Olivier Darrigol, Bernard d'Espagnat, Frédéric Nef, Michel Paty, *Institut autrichien, Paris*, 17.6.1993. C

- O carater histórico da adequação da física e da matemática, Séminaire à l'*Instituto de Estudos Avançados de l'Université de São Paulo* (Brésil), le 7.10.1993. B

- A construção matematica e a realidade do espaço-tempo da teoria da relatividade (O tempo e os fenómenos, da relatividade restrita à relatividade geral), Conférence invitée au*VIII Colóquio de História da Ciência, Espaço e tempo* (CLE, Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, UNICAMP, Univ. de Campinas), Águas de Lindoía (S.P., Brésil), 14-17.10.1993 (le 14.10). A

- La Big science est-elle une pensée ? Exposé invité au *Workshop Dove va la Big science. Sviluppo, passati e prospettive future, en hommage à Marcello Cini pour son soixante-dixième anniversaire*, Dipatimento di Fisica dell'Università La Sapienza, Rome, 22.10.1993. A

- Mesure, expérience et objet théorique en physique, Exposé invité, *Colloque « Instruments de mesure. Philosophies de la mesure »*, Centre d'analyse des formes et des systèmes, Faculté de philosophie, Université Jean Moulin-Lyon 3/MEST/ARIES, Lyon, .10.1993. A

- La nature des objections d'Einstein à l'interprétation de la mécanique quantique, Conférence, *Société française de physique (Section locale Alsace), UFR des Sciences physiques, Fondements des sciences, Strasbourg*, 26.11.1993. B

- Participation à une rencontre autour de *Albert Einstein - l'homme, sa vie, l'oeuvre* -, avec Françoise Balibar, Thibault Damour, Jacques Merleau-Ponty, Michel Paty, présentée par Jacqueline Denis-Lempereur, *FNAC-Montparnasse*,

Paris, 30.11.1993. C

- Sur l'histoire du problème du temps: le temps physique et les phénomènes, Conférence à la *Journée Le temps et sa flèche*, Société Française de Physique, division "Champs et particules", Colloques sur les questions fondamentales de la physique. Sous le patronage du Ministère de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur, de *Libération*, *La Recherche*, *Ciel et espace*, 8.12.1993. A

- L'objet en physique quantique, conférence au Séminaire du Groupe 3 bis (interdisciplinaire), sur *la Constitution scientifique de l'"objet" des disciplines*), Collège de France, Paris, 5.1.1994. B

- Sur les rapports entre science, histoire des sciences et philosophie, à propos du travail scientifique, de la découverte à l'interprétation, exposé à l'*Equipe REHSEIS, séminaire interne*, 11.1.1994. B

- Problèmes d'éthique et science, contribution à l'atelier 'Science' du *Colloque public Quelle place pour la morale ?*, organisé par le Cercle Condorcet, l'hebdomadaire *La Vie*, et la Ligue de l'Enseignement, Palais des Expositions, Paris, 15.1.1994. A

- Contenus formels et contenus empiriques, remarques sur la philosophie de G.-G. Granger, participation à la Table-ronde « La mesure dans les sciences exactes », *Journée La mesure dans les sciences, autour de l'oeuvre de Gilles-Gaston Granger*, Département de philosophie, Ecole Normale Supérieure, Paris, 18.1.1994. A

- Atomisme et probabilités, Exposé aux *Journées d'études 'représentations de l'atome', Sessions L'atome dans l'histoire des idées*, organisées par le Palais de la Découverte à l'Ecole Normale Supérieure, 27-28.1.1994 (27.1.1994). A

- La découverte entre l'histoire et la philosophie, Conférence, Séminaire de philosophie des sciences de la nature, Institut de Philosophie, Université de Louvain-la-Neuve, 4.2.1994. B

- L'invention du temps instantané chez Newton, Conférence, Ecole Normale Supérieure de Lyon, 22.2.1994. B

- Einstein philosophe. La dimension philosophique de la pensée scientifique, Conférence, *Dipartimento di Fisica, Universita de Bologna*, Italie, 24.2.1994. B

- Géométrie et relativité: Einstein et Poincaré, Séminaire aux *Départements de Physique et d'Histoire des sciences, Dipartimento di Fisica, Université de Bologna*, Italie, 25.2.1994. B

- La modélisation en informatique, Table-ronde avec Ph. Aigrain, L. Kott, J. Mazoyer, M. Paty, J. Stern, *Journée de l'AFIT*, Association française d'informatique théorique, Paris, 19.3.1994. A

- Poincaré et le principe de relativité, Conférence invitée au *Congrès International Henri Poincaré 1994*, Nancy, 14-18.5.1994. A

- Les sciences exactes et la philosophie des sciences : d'Alembert, Condorcet et nous, Conférence-table ronde avec Jean-Jacques Sczeziniarz, Michel Paty, Christian Houzel et Christian Gilain, *Les Journées Denis Diderot*, Université

Paris-7 Denis Diderot, 2.11.1994. A

- Contribution à l'étude des opérations épistémiques dans les théories scientifiques, *Séminaire du CESEF* (Centre d'Etudes pour une Epistémologie Formelle), Paris, 17.11.1994. B

- L'analogie mathématique au sens de Poincaré et sa fonction en physique, *Journées d'études sur l'analogie*, Equipe REHSEIS, CNRS, Paris, 6-7.12.1994 (7.12). A

- Structure et évolution des théories scientifiques, exposé au *Séminaire Histoire et épistémologie des mathématiques* (Union des professeurs de Spéciales et IREM, Univ. Paris-7), Ecole Normale Supérieure, Paris, 7.12.1994. B

- L'impossible retour du temps, Invité au débat de *France-Culture* et *Pour la Science*, animé par Hervé Thys et Emile Noël, Palais de la Découverte, Paris, 17.12.1994. C

- La organisacion de la investigacion cientifica en la Francia y las collaboraciones internacionales, exposé-discussion, *COLCIENCIAS*, Bogotà (Colombie), 23. 1.1995. B

- El programa cientifico de la Equipe REHSEIS y la formacion doctoral en Epistemologia y Historia de la Ciencia en la Universidad Paris-7-Denis Diderot, exposé, participation à une réunion table-ronde pour l'établissement d'une collaboration latino-américaine et européenne pour les formations doctorales en Epistémologie et Histoire des sciences, *IV Congresso de la Sociedad Latino-americana de Historia de las Ciencias*, Cali (Colombie), 24.1.1995. A

- La idea de universalidad de la ciencia y su critica filosofica e historica, Conférence invitée, *IV Congresso de la Sociedad Latino-americana de Historia de las Ciencias*, Cali (Colombie), 27.1.1995. A

- La idea de universalidad de la ciencia y su critica filosofica e historica, 2 conférences, *Universidad Pedagogica, Bogotà* (Colombie), 30 et 31.1.1995. B

- De l'Antiquité à nos jours, quelles ont été les relations entre sciences et croyances ?, Conférence aux *Journées « Sciences et croyances. Relations conflictuelles ou coexistence possible?* », de l'Association *Jeunes Paysans Aujourd'hui*, IFOCAP, Draveil (91), 11.2.1995. C

- La cosmologie, Conférence dans le cycle *Les jeudis de la connaissance*, Conseil général du Département du Val-de-Marne, Créteil, 23 mars 1995. C

- Le sens de la mathématisation des théories physiques selon Poincaré et Duhem, exposé à la *Journée Epistémologie et histoire des sciences dans l'oeuvre de Pierre Duhem*, UFR de Philosophie, Université Michel de Montaigne-Bordeaux-3, 31 mars 1995. A

- La place des principes dans la physique mathématique au sens de Poincaré, exposé au Colloque franco-autrichien *Philosophie et Science au tournant du siècle: Mach, Boltzmann, Poincaré et Duhem*, Paris, 29 mai-1er juin 1995 (30.5). A

- Le nouveau dans la découverte, identification et réception, communication à la

Journée d'études sur les rapports entre philosophie des sciences et histoire des siences: Découverte et nouveauté, *Equipe REHSEIS*, CNRS, Paris, 28 juin 1995. A

- A materia roubada, exposé et débat, soirée de « lancement » du livre, *Cafés academicos de l'Associação dos alunos de física, Instituto de Física*, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 30.8.1995. B

- A dimensão filosofíca do trabalho científico. O caso Einstein. Séminaire, *Instituto de Física*, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brésil, 5.9.1995. B

- A incerteza é uma certeza ? Participation à la *Mesa redonda « Incerteza e realidade »*, avec Umberto Cordani, Ciro Marcondes Filho, M.P., Felippe Serpa, Fernando Pedrão, Delio Pinheiro, *Instituto de Estudos Avançados*, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brésil, le 6.9.1995. B

- A natureza das objeções de Einstein à interpretação de Copenhagen da mecânica quântica, Séminaire, *Instituto de Física*, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brésil, le 6.9.1995. B

- Razão e história das ciêncas. Conferencia de abertura do *Cíclo Homenagem á Karl Popper, Departamento de Filosofia, Faculdade de Ciências Humanas*, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brésil, le 12.9.1995. B

- A ciência, o tempo e o risco. *Mesa redonda* com MP, Mauricio Barreto, Naomar de Almeida Filho, *Instituto de Saúde Coletiva, Facudade de Medicina*, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brésil, le 15.9.1995. B

- A construção histórica da universalidade da ciência, Séminaire au *Mestrado em Ciências sociais, Faculdade de Ciências Humanas*, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brésil, le 19.9.1995. B

- Construção matemática e realidade do espaço-tempo da teoria da relatividade, Séminaire, *Instituto de Física*, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brésil, 27.9.1995. B

- A questão da universalidade da ciência, Conférence, *Universidade Estadual de Feira de Santana (Ba)*, Brésil, 13.9.1995. B

- Sobre o problema do tempo: o tempo físico e os fenômenos (História e epistemologia das ciências), Conférence invitée, *XXXV Congresso Brasileiro de Química* (Salvador, Brésil, 25.9.1995. A

- Introduction au thème l'Universalité de la science, Séminaire interne de l'Equipe REHSEIS, nov. 1995.

- Travail scientifique et philosophie. Einstein et Poincaré, *Séminaires du laboratoire H.M.P. (URA 857)*, Ecole Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la ville de Paris (ESPCI), 3.11.1995. B

- La théorie physique selon Henri Poincaré, contribution au *Séminaire du CeSef* (Centre de synthèse pour une épistémologie formelle), Paris, 11.1.1996.

- Géométrie et physique: Einstein et Poincaré, *Séminaire épistémologique du DAPNIA*, DSM/CEA, Orme des Merisiers, 1.3.1996.

- Thinking mathematically, thinking physically. About Poincaré's and Einstein's respective, ways to a relativistic theory of gravitation. Some Remarks, Contribution to the *Workshop on Geometry and Physics, 1900-1930*, Open University, Milton Keynes, U.K., 14-19th of march 1996 (17.3).

- Espace-temps, temps absolu, temps relatif, Table-ronde avec Françoise Balibar, *Les rendez-vous d'Archimède*, USTL-Culture, Université des Sciences et Technologies de Lille, 14.5.1996.

- Universality of science: a philosophical idea to the proof of history, *International Conference Science the refreshing river - History of science and civilizations* (Joseph Needham Conference), New Delhi, 2nd-4th september 1996 (le 2.9).

- Compte-rendu de la Conférence Internationale *« Science the refreshing river - History of science and civilizations »* (New Delhi, septembre 1996), avec Karine Chemla et Patrick Petitjean, Séminaire de l'équipe REHSEIS, 8.10.1996.

- Participation à la table-ronde « *La science : menace ou menacée ?* », avec Paul Caro, Etienne Klein, M.P., Maurice Bernard, Michel Rival, François Capelier, Pôle universitaire Léonard de Vinci et La Cinquième-L'Association, 9.10.1996.

- Théorisations physiques. Processus, validations, formalisations, Exposé au *CESEF* (Centre pour la Synthèse d'une Epistémologie Formelle), Paris, 7 novembre 1996.

- Descartes, la philosophie et les mathématiques, Conférence à l'*Institut Franco-Portugais, Lisbonne*, 12.11.1996.

- Mathesis universalis e intelligibilidade em Descartes, *O Cartesianismo, 4° Encontro de Évora sobre Historia e Filosofia da Ciência*, Évora, Portugal, 14.11.1996.

- Autoridade, verdade e crítica, Conférence, *Encontros Ciência e Humanismo*, GEC (Grupo pelo Ensino e pela Ciência), Lisbonne, Portugal, 16.11.1996.

- Participation à l'atelier (painel) « As diferentes dimensões da ciência » (avec A.M. Galopim de Carvalho et António Ribeiro), *Encontros Ciência e Humanismo*, GEC (Grupo pelo Ensino e pela Ciência), Lisbonne, Portugal, 16.11.1996.

- Mathesis universalis y inteligibilidad en Descartes, Conférence au *Seminario en conmemoración de los 400 años del nacimiento de René Descartes*, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá (Colombie), 28-29.11.1996 (le 29.11).

- Les discours sur les races et la science, Communication au *Forum Racisme et mondialisation. Vers une éducation de l'antiracisme*, ADAPES, Palais du Luxembourg, Paris, 17 décembre 1996.

- Les nombres, Animation du débat avec Denis Guedj et le public, *Cité des sciences et des techniques*, La Villette-Paris, 25 janvier 1997. D

- La physique nucléaire et des particules, de son évolution récente à ses origines, *Séminaire d'Epistémologie et d'histoire de la physique, Equipe REHSEIS*, CNRS

et Université Paris-7-Denis Diderot, Paris, 11 février 1997.

- Poincaré et le principe de relativité, *Séminaire Histoire et épistémologie des mathématiques* (Michel Serfati), *Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques*, Paris (E.N.S.), 26 février 1997. R, E

- La place des principes dans la physique mathématique au sens de Poincaré, *Département de philosophie, Université de Strasbourg 2*, 18 mars 1997. R, E

- Histoire rapide de la vitesse (le concept physique), Conférence, *Les Entretiens de La Villette : La vitesse*, Paris, 26 mars 1997 (9 h 30-10 h 15). G, D

- La découverte scientifique entre l'histoire et la philosophie, *Séminaire d'Epistémologie comparative*, Université d'Aix-en-Provence-Marseille, 29 avril 1997.

- Le coefficient de Fresnel et la vitesse de la lumière (aux origines de la théorie de la relativité), *Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales et Université d'Aix-en-Provence-Marseille*, 30 avril 1997.

- Poincaré et le principe de relativité, *Département de philosophie, Université de Nantes*, 6 mai 1997.

- Epistémologie de la physique subatomique, Exposé à la *Journée CNRS Départements SHS/IN2P3, CNRS*, Paris, 2 juin 1997.

- Les trois dimensions de l'espace et les quatre dimensions de l'espace-temps, *Journées sur la dimension*, MSH/RESEIS, 3-4 juin 1997.

- A universalidade da ciência : uma ideia filosófica sumetida á prova da história, Conférence invitée au *X Colóquio de História da Ciência : Universalidade, objectividade e progresso da ciência*, Campos de Jordão (S.P., Brésil, 9-12 septembre 1997), Colloque organisé par le Centro de Lógica e Epistemologia de l'Unicamp (Campinas, S.P.) et par le Departamento de Filosofia (FFLCH) de l'USP. (Conférence, le 11.9.1997).

- O estílo científico de Einstein e a questão da descoberta, *Département COPPE de l'Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)*, Rio de Janeiro, 24.9.1997.

- A universalidade da ciência : uma ideia filosófica sumetida á prova da história, *Museo de Astronomia e Ciências Afins (MAST)*, Rio de Janeiro, 26.9.1997.

- Mathesis uiversalis et intelligibilité chez Descartes, *Séminaire d'Histoire et épistémologie des mathématiques* (Michel Serfati), Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, Paris (E.N.S.), 22.10.1997.

- A epistemologia da criação científica segundo Poincaré et Einstein, Conférence, *Ceremonia inaugural da Cátedra Mario Schenberg, Instituto de Estudos Avançados*, Universidade de São Paulo, 7.11.1997.

- $E=mc^2$. Einstein et la relativité, Conférence dans le cycle *Les révolutions de la pensée scientifique, Université ouverte, Service culturel et socio-culturel, Mairie de Gif-sur-Yvette*, Chateau de Bellevue, 20.11.1997.

- Geometria y experiencia, Conferencia general, *Universidad del Valle*, Cali, Colombie, 3.12.1997.

- Le principe du *Traité de dynamique* et les premiers travaux d'hydrodynamique de d'Alembert, Exposé au *Groupe de travail D'Alembert, Centre International de Rencontres Mathématiques, Université de Marseille-Luminy*, 23-27 février 1998 (24.2).

- Simplicité et complexité dans la caractérisation d'élémentarité de la matière, Cours-conférence au stage sur *L'élémentarité* pour les professeurs de philosophie des lycées, MAPFEN région Rhône Alpes, IUFM de Grenoble, 26-27 février 1998 (27.2).

- Rapport de la Table-ronde « Vivre ensemble, favoriser le lien social », Colloque *Vivre ensemble : Eduquer, informer, sensibiliser contre le racisme et favoriser le lien social*, organisé par l'ADAPES, Conseil Economique et Social, Paris, 17-18.12.1997 (Président et rapporteur, le 18.12).

- Introduction et exposé sur La science et le sens commun : l'indispensable raccord, Colloque *Les pratiques socio-économiques et politiques face aux enjeux de la science. La fin de la culture ?*, Colloque de l'ADAPES organisé par Emile Malet et Michel Paty, Palais du Luxembourg, Paris, 17.3.1998.

- Naissances de l'espace-temps, Séminaire sur l'espace et le temps (Marc Lachièze-Rey), *Collège International de Philosophie*, Paris, 28.4.1998.

- La quatrième dimension de l'espace-temps, Séminaire, *Ecole Normale Supérieure*, Paris, 6.5.1998.

- Séparabilité locale et déterminisme dans l'interprétation d'Einstein de la mécanique quantique, Séminaire, *Département de philosophie, Université de Louvain-la-Neuve*, 15.5.1998.

- A fronteira entre o clássico e o quântico (La frontière entre le classique et le quantique.). Introdução á Mesa-redonda « A fronteira entre o clássico e o quântico ». (Introduction à la Table-ronde « A fronteira entre o clássico e o quântico »), *Simpósio David Bohm. Os Fundamentos da Física*, Instituto de Estudos Avançados (IEA) e Instituto de Física (IFUSP), Universidade de São Paulo, 21-25 septembre 1998 (21.7.).

- Separabilidade local e determinismo na interpretação de Einstein da mecânica quântica (Séparabilité locale et déterminisme dans l'interprétation d'Einstein de la mécanique quantique), Conférence invitée, *Simpósio David Bohm. Fundamentos da Física*, Instituto de Estudos Avançados (IEA) e Instituto de Física (IFUSP), Universidade de São Paulo, 21-25 septembre 1998 (23.9).

- Vérité, objectivité, nouveauté dans la recherche et les critères d'évaluation, Exposé aux *Journées d'étude : Le choix d'un itinéraire dans la recherche*, CNRS, Gif-sur-Yvette, 15-17 septembre, 6-8 octobre 1998 (le 6.10).

- Physique quantique et probabilité, Exposé invité, *Journée Physique et probabilité*, *Séminaire d'Histoire des Sciences Mathématiques et Physiques (EHESS et Université de Provence) et Association Méditerranée et Histoire des Sciences*, Marseille, 21 octobre 98.

- Le vide, physique et philosophie, Contribution à la *Table-ronde de présentation du livre « Le vide. Univers du tout et du rien »*, dans le cadre de l'*Exposition-*

rencontres, 1895-1995, centenaire de la Revue de l'Université de Bruxelles, avec Simon Diner, Edgard Gunzig, Pierre Marage, Michel Paty, Isabelle Stengers, Grand Hall de l'Université de Bruxelles, 23 octobre 1998.

- Science, that obscure object of thought and use, Contribution to the *Forum Has Science Failed Society ?, National Science Week*, with Leo Enright, John Gormley, Michel Paty, Denis Weaire, *Dublin Institute of Technology*, Dublin, 5 novembre 1998.

- L'origine hydrodynamique du principe de d'Alembert, *Séminaire d'Epistémologie et Histoire de la physique, Equipe REHSEIS*, CNRS et Université Paris 7, Paris, 10 novembre 1998.

- Les trois stades du principe de relativité, Conférence, *Journée Les relativités, Groupe de contact en Histoire comparée des sciences*, Université Libre de Bruxelles, 14 novembre 1998.

- Réflexion sur la notion de grandeur mesurable, Contribution à la *Table-Ronde Fondements de la science : La mesure*, avec Jean-Paul Delahaye, Marco Panza, Michel Paty, Herve Zwirn, débat animé par Yann Esnault, *Citéphilo 98, deuxième semaine européenne de la philosophie, Lille-Région Nord-Pas de Calais*, Maison des élèves de l'Ecole des Mines, Douai, 19 novembre 1998.

- L'histoire des conceptions du monde, Rencontre-réflexion avec Marc Lachièze-Rey et Jean-Jacques Sczeciniarz, animée par Michel Paty, *Librairie Interférences*, Paris, 11 décembre 1998.

- Interpretations and Significations in Quantum Physics, Invited Conference, *Congress on Philosophy and Foundations of Science III. From duality to unity*, New Delhi, 28 décembre 1998-1er janvier 1999.

- D'Alembert, la science newtonienne et l'héritage cartésien, Conférence, *Journée D'Alembert, Département de philosophie, Université de Paris X-Nanterre*, 29 janvier 1999.

- Remarques sur la construction d'objectivités en physique, *Séminaire du CESEF*, MSH, Paris, 11 février 1999.

- Newton et Descartes dans D'Alembert, *Journée D'Alembert, Département de philosophie, Université Michel de Montaigne, Bordeaux-3*, mardi 16 février 1999.

- Construction et interprétation des théories physiques : la physique quantique, *Cours de Méthodes d'Epistémologie et Histoire des Sciences, Université Paris 7-Denis Diderot*, 1999 (7 séances de 2h).

- La relativité d'Einstein et sa signification philosophique, *Centre de recherches sur l'argumentation, Institut de philosophie, Université Libre de Bruxelles*, 23 février 1999.

- The Idea of Quantity at the Origin of the Legitimacy of Mathematization in Physics, *Conference on the philosophy of Marx Wartofsky*, New School University, New York, 6 mars 1999.

- Table Ronde sur « Les deux méthodes de construction d'objectivité pratiquées dans la physique moderne », de Mioara Mugur-Schächter, avec : Francis Bailly,

Hervé Barreau, Michel Bitbol, Michel Paty, Robert Vallée, *Séminaire du CeSeF* (Centre pour la Synthèse d'une Epistémologie Formelle), MSH, Paris, 6 Mai 1999.

- La notion de grandeur et la légitimité de la mathématisation en physique, Conférence, *Deuxième Journée de philosophie des sciences Jean Largeault*, Universités de Paris-Sorbonne (Paris-4), Paris 1-Panthéon-Sorbonne, Marc Bloch-Strasbourg-2, Institut Universitaire de France, Vendredi 7 Mai 1999.

- La frontière entre le classique et le quantique, *Séminaire d'histoire et épistémologie des mathématiques* (Michel Serfati), Institut de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques, Paris (E.N.S.), 9 juin 1998.

- Physical meaning of probability for quantum states, Exposé invité, *Stochastic Dependence and causality*, Universitá di Bologna Conference, Centre of Bertonoro di Romagna, 20-22 septembre 1999 (21.9).

- Mémoire de Bruno Escoubès. L'engagement dans la recherche, Intervention, *Hommage à Bruno Escoubès*, Institut de Recherches Subatomiques (CNRS et Université Louis Pasteur, Strasbourg-1), Strasbourg, 29 septembre 1999.

- Remarques sur la « reformulation de la Méthode de Conceptualisation Relativisée » de Mioara Mugur-Schächter, *Séminaire du CeSef (Centre pour la Synthèse d'une Epistémologie Formelle)*, Paris, EHESS, 30.9.1999.

- Trois sens de la complétude en physique, Session sur la Complétude en mécanique quantique et en mathématiques, *Séminaire du CeSef*, Paris, 28.10.1999.

- Grandeurs physiques et systèmes dynamiques, *Journées épistémologie des systèmes dynamiques* (Equipe REHSEIS), ESPCI, Paris, 25-26.11.1999. (le 26.11).

- La création scientifique selon Poincaré et Einstein, *Séminaire d'épistémologie et histoire de la physique, Equipe REHSEIS*, Paris, 11.1.2000.

- Remarques sur la nouveauté (Neuf aphorismes sur le neuf), *Colloque le Neuf est-il prévisble*, ADAPES, Maison de l'Amérique latine, Paris, 12.1.2000.

- Remarques simples sur la complexité, Session sur les représentations formelles de la complexité, *Séminaire du CeSef*, Paris, 27.01.2000.

- La physique quantique hier et aujourd'hui : ses problèmes d'interprétation, Séminaire du DEA de Sciences cognitives, Université de Bordeaux 2, 25.2.2000.

- Esthétique ou épistémologie ? L'invocation de l'harmonie dans les ressorts de l'invention scientifique, Conférence invitée, *Colloque sur La Science, la philosophie et l'art*, Universite de Douala, Cameroun, mars 2000.

- La création scientifique selon Poincaré et Einstein, Leçon, *Colloque sur La Science, la philosophie et l'art*, Universite de Douala, Cameroun, mars 2000.

- Intelligibilité et historicité. Science, rationalité, histoire, Conférence invitée au Colloque *Les grands rendez-vous de la science et de l'histoire*, Palais de la Découverte et UNESCO, Paris, 20-25 mars 2000 (25.3). R.

- A descoberta do Brasil pela história da ciência, Séminaire au *MAST Coloquium*, Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST/CNPq, Rio de Janeiro, 3 mai 2000.

- Aprofundamento da matemática, alargamento da racionalidade. Para dar sequência à conversas passadas com Maria Laura sobre matemática e física, Intervention à la Table-ronde *Mesa redonda de Homenagem à Professora Maria Laura Mouzinho Leite Lopes por sua contribuição à matemática brasileira*, Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST/CNPq), Rio de Janeiro, 22 de maio de 2000 (Participantes : Lucia Tinoco, Maria Yeda Linhares, Moéma Sá Carvalho, Maurício Mattos Peixoto, Michel Paty, Tatiana Roque, Henrique Lins de Barros).

- A significação filosófica da relatividade de Einstein ontem e hoje. (La signification philosophique de la relativité d'Einstein hier et aujourd'hui). *Conferencia geral da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)*, 26 mai 2000.

- De la critique des concepts d'espace et de temps de la physique classique au « principe de Mach » : L'influence de la pensée de Mach sur Einstein, Exposé à la *Journée d'Etude sur Mach,* Université Louis Pasteur, Strasbourg, 8 juin 2000.

- El cálculo diferencial y el pensamiento de los principios de la dinámica en la obra de d'Alembert », Conférence magistrale invitée, *Congreso Nacional de Matemáticas/2000*, Santa Fé de Bogotá (Colombie), 14-18 aout 2000 (le 15 août).

- ¿ Son los sistemas quanticos objetos fisicos con propiedades físicas ? », Conférence publique, *Congreso Nacional de Matemáticas/2000*, Santa Fé de Bogotá (Colombie), 14-18 aout 2000 (le 17 août).

- La Educación matemática y la práctica de las matemáticas, Participation au *« Panel-Mesa Redonda »* (Table-ronde) de la séance finale du *Congreso Nacional de Matemáticas/2000*, Santa Fé de Bogotá (Colombie), 14-18 aout 2000 (le 18 août).

- El concepto de magnitud y la legitimidad de la matematización de la fisica, Conférence à l'*Instituto de Educación y Pedagogía, Doctorado en Educación, Red de Docentes e Investigadores en Educación Matemática*, Universidad del Valle (Ciudad Universitaria Meléndez), Cali, 23 août 2000.

- El concepto de magnitud y la legitimidad de la matematización de la fisica, Conférence à la *Facultad de Educación de la Universidad de Antioquia*, Medellin, 28 août 2000.

- Física, filosofía e historia, Conférence au *Primer Encuentro de Enseñanza de las ciencias*, Universidad de Antioquia (Edificio Paraninfo), Medellín, 29 août 2000.

- Ernst Mach, les concepts physiques et leur forme mathématique. Une minimisation de la portée des mathématiques en physique, Contribution au *Symposium Physique et physiologie chez Ernst Mach (1838-1916)*, Académie Helmholtz et Université Catholique de Louvain-la-Neuve, 12-13 octobre 2000 (le 12 octobre).

- Réflexions sur le concept de temps, Conférence organisée par le *Centre National de Documentation Pédagogique* dans le cadre de la *Fête de la Science*, Grand salon de la Sorbonne, Paris, 18 octobre 2000.

- La notion de grandeur et la légitimité de la mathématisation en physique, Séminaire d'Epistémologie et Histoire de la Physique, REHSEIS, CNRS et Université Paris 7-Denis Diderot, Paris, 7 novembre 2000.

- Intelligibilité et historicité (sciences, raison, histoire), exposé au Séminaire interne de l'Equipe REHSEIS, CNRS et Université Paris 7-Denis Diderot, 14 novembre 2000.

- La fisica cuantica, o el arrastre del pensamiento fisico por las formas matematicas. Conférence invitée, *Congreso Internacional 100 anos de fisica cuantica. - International Congress 100 Years of Quantum Theory*, Madrid, 22-25 novembre 2000 (le 22 nov.). (La physique quantique ou l'entraînement de la pensée physique par les formes mathématiques).

- Reflexiones sobre las relaciones entre la inteligibilidad y la historicidad en las transmisiones y las criaciones de conocimientos cientificos, Communication invitée au « Simposio Alexander von Humboldt y la Historiografía de la Ciencia (Science and Cultural Diversity) », *VII Mexican Congress of History of Science and Technology*, Pachuca (Hi), Mexique, 26-29 novembre 2000 (28 nov.).

- Les systèmes quantiques sont-ils des objets physiques ayant des propriétés ?, *Journées d'Epistémologie*, Paris, 5-6 décembre 2000 (le 5 déc.).

- La physique quantique ou l'entraînement de la pensée physique par les formes mathématiques, Participation invitée à la Table-ronde « Les questions posées par la découverte des quanta », *Séminaire Histoire et prospective des quanta. Centenaire de la découverte des quanta*, Palais de la Découverte, Paris, Jeudi 14 décembre 2000. (Résumé : [2000zv]).

- L'espace physique vu du monde quantique. Une approche épistémologique, Exposé à la Rencontre *L'espace physique, entre mathématiques et philosophie*, Centre d'Etudes de Cargese, 29 janvier-3 février 2001. (Résumé : [2000zw]).

- « Mécanique nouvelle » et « nouvelle physique », ou les mathématiques de la dynamique et la pensée de la physique, Exposé à la *Conférence Une physique et une chimie françaises (1900-1918) ?*, Paris, 1er et 2 mars 2001 (le 1er mars). (Résumé : [2000zx]).

- Les concepts de la physique : contenus rationnels et construction historique, Conférence dans le cadre des *« Trente ans de l'Université Paris 7-Denis Diderot », Université Paris 7-Denis Diderot*, lundi 2 avril 2001 (19h, amphi 24, 2 Place Jussieu, 75005 Paris).

- Principes de la mécanique et analyse chez d'Alembert. Le point de vue conceptuel, Exposé au *Séminaire sur les principes au XVIII è siècle, Groupe de travail sur les œuvres de d'Alembert*, Observatoire de Paris, 4 mai 2001.

- « Construction d'objet » et objectivité en physique quantique, exposé à la *Demi-journée « Objectivité et constructivisme : antagonisme ou complémentarité ? Regards croisés sur les usages et les raisons des approches constructivistes et*

objectivistes en sciences humaines et naturelles », organisée par Erwan Lamy, Michel Paty et Terry Shinn (Equipes GEMAS, IDHE-Cachan, REHSEIS), Université Paris 7-D.Diderot, Paris, 22 mai 2001.

- Les études latino-américaines d'histoire sociale des sciences à travers la revue *Quipu (Revista Latinoamericana de História de las Ciencias y la tecnología, Mexico)*, Exposé de bibliographie, *Matinée de l'Equipe Rehseis*, 12 juin 2001.

- La idea de criación cientifica segundo Poincaré y Einstein, Conférence (en espagnol), *Departamiento de Matematicas, Facultad de Ciencias,* Universidad Nacional Autonoma de Mexico (UNAM),Mexico, 18 juillet 2001.

- A ideia de criação científica segundo Poincaré e Einstein, Conferencia (en portugais), *Departamento de Filosofia, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus* (Bahia, Br.), 3 sept. 2001. *Ibid., Instituto de Filosofia*, *Universidade Federal da Bahia*, Salvador (Ba, Br.), 5 sept. 2001.

- D'Alembert, a física newtoniana e a herança cartesiana : Principios da mecânica e analise em d'Alembert, Conférence et Table-ronde (en portugais), *Departamento de Filosofia, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus* (Bahia, Br.), 3 sept. 2001.

- Intelligibilidade e historicidade (Ciência, racionalidade, história), Conferência inaugural (en portugais), *Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências*, *Universidade Federal da Bahia*, Salvador (Br.), 4 sept. 2001.

- La physique quantique, ou l'entraînement de la pensée physique par le formalisme mathématique, Conférence au *Séminaire de philosophie « La forme et le sens »*, *Département de Philosophie*, Université de Nantes, mercredi 13 novembre 2001.

- La formation d'une tradition de physique mathématique au Brésil, Conférence au *Séminaire d'Anthropologie Politique du Brésil* (Afrânio Garcia), EHESS/CRBC, 4 décembre 2001 (2h).

- Intelligibilité et historicité (sciences, rationalité, histoire), Conférence au *Séminaire d'Histoire et de Philosophie des Sciences*, Centre François Viète, Université de Nantes, 22 janvier 2002.

- Les objets quantiques ont-ils des propriétés physiques ?, Exposé, avec Claude Comte, *Séminaire d'Epistémologie et Histoire de la Physique*, Equipe Rehseis (UMR 7596), 12 mars 2002.

- Causalité et déterminisme en physique : physique classique, relativiste et quantique. Tribulations et différences, Conférence, *Faculté de Philosophie, Université de Louvain-la-Neuve (Be)*, vendredi 15 mars 2002.

- Le rationnel et ses transformations (Intelligibilité, rationalité, historicité), *Stage pour les professeurs de philosophie*, Académie de Grenoble et Haute-Savoie, Lycée Berthollet, Annecy (Martine Verlhac), 22 mars 2002.

- Champ scientifique, science de la science et réflexivité selon Pierre Bourdieu. (Lecture du livre de P. Bourdieu : *Science de la science et réflexivité*, Raisons

d'Agir Editions, 2001), Séance de bibliographie critique, avec Bruno Belhoste et Martin Zerner, Equipe REHSEIS, Paris, mardi 9 avril 2002.

- Interventions au Séminaire *Les études sur la science en France : 1945-2000. Bilan d'une recherche* (Jean-Michel Berthelot, Cécile Colineau, et Olivier Martin), Laboratoire LEMTAS, Université Paris 5, Paris, 3 et 10 avril 2002.

- Poincaré et la physique de son temps, *Cours de préparation à l'agrégation de philosophie*, UFR de philosophie, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, 22 avril 2002 (3h. de cours).

- Duhem et la théorie physique, Conférence, *Cycle d'Initiation à la philosophie des sciences (C. Debru), Ecole Normale Supérieure*, Paris, 4 décembre 2002.

- Einstein philosophe, Conférence, *Cycle d'Initiation à la philosophie des sciences* (C. Debru), *Ecole Normale Supérieure*, Paris, 11 décembre 2002.

- L'élément différentiel de temps et la causalité physique dans le *Traité de dynamique* de Alembert, Exposé à la *Semaine de travail sur les Contributions à l'astronomie et aux mathématiques chez d'Alembert*, Centre International de Mathématiques, Luminy-Marseille, 6-10 janvier 2003 (le 8.1).

- Remarques d'introduction au débat sur la question des tentatives de détection d'« intelligences » extraterrestres, Intervention au *CeSef*, Paris, jeudi 27 février 2003.

- Le siècle d'Einstein, Conférence, *Association Culturelle, Boulogne-Billancourt*. 13 mai 2003.

- Causalité et mathématisation des grandeurs physiques au XVIIIe siècle, Conférence à la *Commission Inter-IREM « Epistémologie et histoire des mathématiques »*, Espace Jussieu, Université Paris 7-Denis Diderot, samedi 24 mai 2003.

- Participation à *Filosofía, ciência e outros papos* : *Clonagem e ética* () (Pablo Mariconda, M. de Carvalho, Franklin L. e Silva), Cafe filosófico, Espace Alberico Rodrigues, Praça Benedito Calixte, São Paulo (Br), 13 septembre 2003. (Interventions)

- *Intelligibilidade et historicidade (Ciência, racionalidade, história)*, Conferência, Simposio inaugural do Programa de Pos-Graduação em Epistemologia e História da Ciência, Universidade Federal do Rio de Janeiro (Br), 23 septembre 2003.

- *Divulgação cientifica e responsabilidade*, Escola de Comunicação e Arte (ECA), Universidade de Sã Paulo, São Paulo (Br), 29 septembre 2003.

- *Ciência, religião e compromisso social*, Conférence, Instituto Teologico de São Paulo, 21 octobre 2003.

- *Einstein, ciência, física e filosofia*, Conférence, Universidade Metodista, São Bernardo, S.P. (Br), 23 octobre 2003.

- *Conhecimento e problemas cosmológicos* : exposé, animation, dans le cycle : *Filosofía, ciência e outros papos, Cafe filosófico*, Espace Alberico Rodrigues, Praça Benedito Calixte, São Paulo (Br), 25 octobre 2003.

- Exposés-interventions aux Tables rondes sur *Do primeiro motor de São Tomas de Aquin até o Big-bang*, avec Francisco Benjamin Souza Njeto (osf), Frei Josafat Oliveira (op), Franklin Leopoldo e Silva, Carlos Estevão et MP, 29 et 30 oct. 2003.

- *Inteligibilidade e historicidade (Ciência, racionalidade, historia)*, Conférence, Universidade Estadual de Londrina (Pa, Br) - Rede Paraense de Pesquisas de Historia e Filosofia da Ciência, 19 novembre 2003.

- *O arastamento do pensamento fisico pelas formas matemáticas na física quântica*, Conférence, Universidade Estadual de Londrina- Rede Paraense de Pesquisas de Historia e Filosofia da Ciência, 20 novembre 2003.

- *Nouveauté et émergence dans la quête des fondements*, Conférence au Centre d'Etude pour une épistémologie formalisée (CeSef), Paris, 18 déc 2003.

- *La notion de grandeur physique mathématisée: ses origines et ses implications*, Colloquium de mathématiques, Universités Paris 6 et 7, Cent§re Chevaleret, 15 janvier 2004.

- La notion de grandeur physique mathématisée : ses origines et implications, *Colloquium de mathématiques*, Institut de mathématiques de Jussieu et Universités Paris 6- Paris 7, Jeudi 15 janvier 2004.

- Nouveauté et émergence dans la quête des fondements, 2, Exposé au *CeSef* (reprise, un peu différente), Rehseis, Paris, jeudi 22 janvier 2004.

- Interventions de discutant à la Table-ronde "*La réception du darwinisme au Brésil*", EHESS (105 Bd Raspail, Paris), Séminaire d'Afrânio Garcia, avec Isa Domingues, Gustavo Caponi (exposants), Gérard Jorland, Michel Paty (discutants), Mardi 10 février 2004.

- Présentation et interventions à la Table-ronde *"Interactions entre sciences, politique et institutions au sortir de la 2e guerre mondiale"*, avec Michel Paty, Heloisa Bertol Domingues, Olival Freire Jr, Pascal Crozet, Afrânio Garcia et Patrick Petitjean, Rehseis, Université Paris 7-D. Diderot, 26 février 2004.

- Autour du livre de Jean-Jacques Szczeciniarz, *La terre immobile*, avec Etienne Klein, Marc-Lachièze-Rey, Michel Paty, Pascal Nouvel, *Samedis du livre de Denis Diderot*, Centre d'Etudes du Vivant et Association Diderot, Univ. Paris 7-D. Diderot, Amphi 45A, Place Jussieu, Paris, 13 mars 2004, 15h-18h.

- La recherche en physique subatomique et l'héritage du XXe siècle, *Journée des entrants de l'IN2P3*, Paris, Espace Eurosciences, 30 mars 2004, 9h-9h30.

- L'état de la physique et ses tendances vers 1900, Conférence au Séminaire *Energie, science et philosophie au tournant 19e-20e siècle*, Equipe Rehseis, Paris, 3 mai 2004.

- Lições epistemológicas da física do século XX, Conferência, *Programa de Pós-Graduação em Epistemologia e História da Ciência*, Universidade Federal da Bahia (UFBa), Salvador (Ba, Brésil), 13 de agosto de 2004.

- Aspectos e lições da Ciência do Século XX, Conferências, *Curso de Journalismo Científico, Escola de Comunicação e Arte*, Universidade de São Paulo, 14, 21, 28

de setembro de 2004, 19h30-21h30.

- Lições Filosóficas da Ciência do Século XX, Conferência, *Museu da Ciência, Santo André* (SP, Brasil), 30 de set, 19h.

- A cosmologia como ciência e o problema do tempo, Seminario, *Encontro Tematico, Departamento de Filosofía, Universidade Estadual de Santa Cruz*, Ilhéus, 14 octobre 2004.

- Novidade e emergência na procura dos fundamentos, Conférence, *Universidade Estadual de Santa Cruz*, Ilhéus, 14 octobre 2004.

- Algumas lições da ciência do século XX, *Seminario do IFUSP, Instituto de Física, Universidade de São Paulo*, 4 de novembro de 2004 (16h, Auditorio Abrahao de Moraes).

- Para uma filosofia da criatividade : ciência, arte e invenção, Mesa redonda, com Pablo Mariconda & Michel Paty, coord. por Claudemir Roque Tossato, *Comemoração do Dia Internacional da Filosofía e do 70 aniversário da Univesidade de São Paulo*, org. por UNESCO e Palas Athena, São Paulo (SP, Br), 18 de novembro de 2004, 14-16 h.

- Escolas filosoficas/Ecoles philosophiques, Mesa-redonda/Table-ronde por Marilena Chaui & Michel Paty, modérateur/debatedor Pablo Mariconda, Ciclo *Présenças francesas nos 70 anos da USP/Présences françaises en 70 ans de l'USP (Universidade de São Paulo)*, Centro Universitário Maria Antonia, São Paulo (SP, Br), 24 novembre 2004, 19-21 h.

- La physique quantique ou comment comprendre l'inobservable, Rencontre-débat avec Bernard d'Espagnat et Michel Paty, *Série « La Science se livre », 8e édition : « La physique », Association Relief, Département des Hauts-de-Seine*, Médiathèque de Nanterre, samedi 29 janvier 2005, 17-19h.

- 1905, l'année admirable d'Einstein, Conférence, Faculté des Sciences de l'Université de Corse, Corte (Corse, France), mercredi 16 février 2005.

- Einstein 1905: intelligibilité rationnelle et création scientifique, *Conférence, Union rationaliste*, Paris (Mairie du 13e arrondissement, 1er mars 2005.

- Einstein 1905 : Inteligibilidade racional e criação científica , Conferência, Univ. Fed. da Bahia Programa « Cem anos de Física », Salvador (Ba), 20 maio de 2005.

- As perspectivas de Einstein a respeito da Física quântica, *Seminario do IFUSP, Instituto de Física, Universidade de São Paulo*, 2 de junho de 2005 (16h, Auditorio Abrahao de Moraes).

- O Século das Luzes e sua influência no espírito moderno, Conferência-debate, com Michel Paty e José Oscar de Almeida Marques, *Café Filosófico, Livraria Cultura* (Conjunto Nacional, Avenida Paulista), São Paulo (Br), 16 juin 2005 (19h30-22h). (Lançamento do livro d'Alembert, de Michel Paty).)

- Materia e necesidade segundo a ciência contemporânea, Exposição, *Jornada Conceitos de Matéria. Da Antigüidade à Nanociências, Seminario de Trabalho do Grupo Estudos de Filosofia e História da Ciência, Depto. De Filosofia, FFLCH, USP*, São Paulo, 24 de junho de 2005, sala 113, 9h-17h.

- Le style scientifique d'Einstein dans l'exploration du domaine quantique (une conception des rapports entre la theorie et son objet, Conférence au *Séminaire du Département de physique, Université de Montréal*, Montréal, Québec (Canada), 12 septembre 2005, 12h 30.

- La création scientifique peut-elle être un sujet d'interrogation philosophique ? (ou : Création scientifique et rationalité), Séminaire au *Département de philosophie, Université de Montréal*, Montréal, Québec (Canada), 13 septembre 2005, 14h.

- Quelques leçons de la physique du XXe siècle, Conférence, *Programme « Les Belles Soirées », Université de Montréal*, Montréal, Québec (Canada), 13 septembre 2005, 19h

- A noçao de grandeza e a legitimidade da matematização em física, Seminário, *Grupo de Ensino, Epistemologia e Hisrtória da Matemática, Instituto de Matemática e Estatística*, Universidade de São Paulo, 22 septembre 2005, 14 h.

- Rumos da Cîência desde o Concilio Vatican 2, contribuição a *Mesa redonda « Vaticano II. Um diálogo com a ciência e a tecnologia »* (com : Eduardo Rodrigues da Cruz - Cecrei - PUCSP, Luiz Eduardo W. Wanderley, Carlos Josaphat), Teatro da Pontificia Universidade Católica (PUC), São Paulo, 2 nov. 2005.

- La philosophie de la matière d'Einstein, Exposé, *Séminaire sur l'Energie, Equipe Rehseis*, Paris, 13 janvier 2006.

- Création scientifique et rationalité, Conférence (invitée) à la *Société Rhodanienne de Philosophie (SRP), Faculté de philosophie de l'Université Lyon 3*, Lyon, 25 janvier 2006.

- D'Alembert, l'élément différentiel de temps et la causalité physique , Exposé à la *Journée « Mathématiques et Fondements de la Physique aux XVIIIe et XIXe siècles », Equipe REHSEIS*, CNRS et Université Paris 7-D. Diderot, Paris, 20 février 2006.

- Participation et interventions à la séance sur « D'Ambrosio et l'ethno-mathématique aujourd'hui » du *Séminaire d'Ethnomathématiques*, Equipe REHSEIS, CNRS & Univ. Paris 7-D.Diderot, séance du 17 janvier 2007.
- Intervenant-discutant invité dans la séance sur les « Perspectives du développement scientifique et technologique du Brésil et de la coopération Brésil-France » (après l'exposé de Rémy Lestienne), *Groupe de Recherches sur le Brésil Contemporain* (resp. : Afrânio Garcia), Maison des Sciences de l'Homme, EHESS, Paris, 17 janvier 2007.

- D'Alembert et la mathématisation de la physique au XVIIIe siècle, Conférence, dans le cycle des *Conférences de « L'Année Histoire des Sciences », préparatoires du 12e Congrès International des Lumières*, Université de Montpellier-2, Campus UM2 (Grand Amphi Polytech' Montpellier), 30 janvier 2007.

- Sur la décidabilité de la géométrie de l'espace physique : Einstein et le point de vue de Riemann, Exposé au *Séminaire Riemann*, Equipe Rehseis (CNRS et Université Paris 7-Denis Diderot) et Ecole Normale Supérieure, Paris, 14 février

2007.

- El materialismo considerado del punto de vista cosmológico y evolucionista, Conferencia en la *Jornada de estudios materialistas : « Introducción a la Historia del Materialismo »* (avec Juliana Gristelli, Michel Paty & Germán Perotti), *Archivo y Biblioteca-Chile en Suecia, Libreria Latinoamericana, Internationelt kulturcentrum & Asociación Nacional Víctor Jara*, Stockholm (Suède), samedi 16 juin 2007.

- D'Alembert e a matematização da física no século XVIII, *Seminário de História e Ensino das Ciências*, Instituto de Matématica e Estatística (IMEUSP), Universidade de São Paulo, 13 de setembro de 2007.

- Evocação de José Leite Lopes, físico, pensador, artista, cidadão, *Evento MAST-Coloquia-Memória da Física-Homenagem à J. Leite Lopes, organizado pelo Museu de Astronomia e Ciências Afins, Espaço Cultural FINEP* (Praia do Flamengo, 200), Rio de Janeiro (Brésil), 28 de agosto de 2007.

- Inteligibilidade rational e Historicidade, *Séminario de Pós-Graduação, Universidade Federal da Bahia*, Salvador (Ba, Br.), 3 de setembro de 2007.

- Construcción de objeto y objectividad en física cuántica, Conferencia de posesión como Miembro Correspondiente Estranjero, *Sesión Solemne de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales,* Bogotá (Colombia), 7 de noviembre de 2007.

- El conocimiento cientifico como pensamiento simbolico. Alcunas implicaciones epistemologicas y filosoficas de este ponto de vista, Conferencia, *Facultad de Humanidades, Universidad del Valle*, Cali, Colombia, viernes 9 de noviembre de 2007 (17-20h).
- Conversatorio sobre Filosofia de las ciencias, *Facultad de Humanidades, Universidad del Valle*, Cali, Colombia, sábado 10 de noviembre de 2007 (10-12 h).
- La reflexión crítica, histórica y epistemológica de las ciencias y su rol en la formación de la cultura contemporánea, Conferencia, *Seminario : Los Estudios Culturales de las Ciencias, Facultad de Educación y Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Antioquia*, Medellin (Colombie), 13 de noviembre de 2007 (9-11 h).

- La concepción de la epistemológia historica y de la filosofia de la ciencia herdada de Cavaillès, Bachelard y Canguilhem, Conferencia, *Seminario : Los Estudios Culturales de las Ciencias, Facultad de Educación y Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Antioquia*, Medellin (Colombie), 13 de noviembre de 2007 (14-16 h).

- Conversatorio, dirigido a professores, *Seminario : Los Estudios Culturales de las Ciencias, Facultad de Educación y Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Antioquia*, Medellin (Colombie), 13 de noviembre de 2007 (17 h).

Prévus en 2008 :

- Science et philosophie. La pensée symbolique du monde, Deux Conférences aux élèves de Terminale du *Lycée Læticia Bonaparte d'Ajaccio*, vendredi 11 janvier 2008 (9h-10h30, classes scientifiques ; 11h-12h, classe littéraire).

- José Leite Lopes : physicien, penseur, artiste, citoyen, Exposé, *Journée José Leite Lopes, Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, Strasbourg*, 18 janvier 2008.
- Un nouveau regard sur la genèse et le développement de la sociologie de Comte : à propos d'un livre récent traduit du brésilien, exposé au Séminaire du Groupe d'Etudes et de Recherches Epistémologiques, Maison d'Auguste Comte, Paris, 16 février 2008.

- La particularité du monde quantique , exposé à la *Séance « Explorer la matière aujourd'hui »* (par Michel Crozon et Michel Paty), *Conférences « Les Rendez-vous d'Archimède »*, Université de Lille, mardi 4 mars 2008.
- Sur la décidabilité de la géométrie de l'espace physique : Einstein et le point de vue de Riemann, *Séminaire Histoire de géométries, Maison des Sciences de l'Homme, Paris*, 14 avril 2008.

III.8. ACTIVITES D'EVALUATION ET D'EXPERTISE

III.8.1. PARTICIPATION A DES JURYS DE THESE OU D'HABILITATION (HORMIS LES THESES DIRIGEES)

III.8.1.a Jurys de Thèses d'habilitation, de Livre-docência, etc.

- Shozo MOTOYAMA, Tese de Livre-docência, Historia das Ciências, Departamento de História, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo (Brésil), 23-24.8.1990.

- Newton Carneiro Affonso da COSTA (Concurso de Professor Titular de Filosofia), Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo (Brésil), 27.8.1990. [Président du jury].

- Jean-Paul DELEAGE (Habilitation à diriger des recherches), Formation doctorale en Epistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7, 13.1.1992. (Hist de l'écologie).

- Raymond-Denis GUEDJ (Thèses d'Habilitation à diriger des recherches), Université Paris VIII (Vincennes à Saint-Denis), 29.3.1994.

- Olivier DARRIGOL (Thèse d'Habilitation à diriger des recherches), Formation doctorale en Epistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7-D. Diderot, 10.12.1993.

- François DELAPORTE (Thèse d'habilitation), Formation doctorale en épistémologie et histoire des sciences, Université Paris-7 Denis Diderot, 199 ?

- Pierre KERSBERG (Thèse d'Habilitation à diriger des recherches, Formation doctorale en Epistémologie et histoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot), 21 décembre 1998.

- Jérôme VIARD (Thèse d'Habilitation à diriger des recherches), Département de Didactique et Histoire des Sciences, Université Claude Bernard Lyon I, 22 décembre 2000. (Rapporteur).

- Silvio Seno CHIBENI (Concurso de Livre-Docência de Epistemologia), Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas (Brésil), 22 juin 2004.

- Mauricio PIETROCOLA PINTO DE OLIVEIRA (Concurso de Livre-Docência de Metodologia do Ensino da Física I e Metodologia do Ensino da Física II), Departamento de Metodologia do Ensino e Educação Comparada, Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo (USP) (Brésil), 2-4 août 2004.

- Mauricio de CARVALHO RAMOS (élu). Jury : Banca do « Concurso, para provimento de um cargo de Professor Doutor do Departamento de Filosofia, disciplina de Teoria do Conhecimento e Filosofia da Ciência », Universidade de São Paulo, 27-29 março de 2006.

- Doutor Pablo Rubén MARICONDA (élu). Jury : Banca do « Concurso, para provimento de um cargo de Professor Titular do Departamento de Filosofia, disciplina de Teoria do Conhecimento e Filosofia da Ciência », Universidade de São Paulo, 4 de abril de 2006.

III.8.1.b Jurys de thèse de doctorat (autres que direction)

J'ai été invité à participer à des jurys de thèses dans diverses universités françaises et à l'étranger, en physique puis en philosophie et histoire des sciences.

- B. FERNANDEZ (3è cycle, Phys.Theorique, CRN-ULP, Strasbourg, 13.6.1974).

- Joel GRISLIN (Thèse d'Etat, Physique des Particules, CRN-ULP, Stras60urg 14.4.1974).

- André BILODEAU (3ème Cycle, Physique Théorique, CRN-ULP, Strasbourg, 14.1.1976).

- Eftichios BITSAKIS (Thèse d'Etat, Philosophie, Univ. de Paris-Vlncennes, 17.6.1976).

- J. SIMMONS (3ème Cycle, Phys.Theor., CRN-UiP, Strasbourg, 24.11.1977).

- J. M. BRUCKER (3ème Cycle, Phys.Théor., CRN-ULP, Strasbourg, juillet 1978).

- M. HUSSER (3eme Cycle , Phys.Théor., CRN-ULP, Strasbourg, 4.7.1978).

- Nina FAROUKI (3eme Cycle, Philosophie, Univ. de Paris I, juin 1978).

- Christos RAGIADAKOS (These d'Etat, Phys.Théor., CRN-ULP, Strasbourg, 10.2.1978).

- Robert KLEIN (These d'Etat, Physique, Univ. de Hte Alsace, Mulhouse, 11.6.1978).

- Jean-Luc JACQUOT (3eme Cycle, Phys.Théor., CRN-ULP, Strasbourg, 4.12.1979).

- Michel BIEZUNSKI (3eme cycle, Didactique des disciplines, Univ. Paris 6, 12.05.1981).

- José MARTINS SIMOENS (Thèse d'Etat, Phys. Théor, CRN-ULP, Strasbourg, 10.2.1978).

- Dominique SPEHLER (Thèse d'Etat. Phys. Théor. CRN-ULP, Strasbourg, 17.12.1981).

- Paul BROUZENG Thèse d'Etat. Phys. Histoire des sciences, Univ. Bordeaux I, 14.12.1981).

- Michel AVENIER (Thèse d'Etat. Phys. Nucléaire, Univ Grenoble, 1912.1982).

- Elena MORAES GARCIA (Thèse de 3ème cycle, philosophie, Univ. USHS, Strasbourg 2) : *Principes et méthodes de la philosophie naturelle de Robert Boyle : causalité et principe*. 2.3.1985

- Françoise BOUCHER-WERCKMANN (Thèse de 3ème cycle, sciences de l'éducation, Université USHS, Strasbourg 2) : *L'acquisition de l'objectivité en sciences physiques en classe de sixième*, 30.9.1985.

- Idely GARCIA RODRIGUES (Qualificação de mestrado, Didactique de la physique, Inst. de Fisica, Univ. de Sao Paulo), 18.8.1986.

- Maria de Fatima DA SILVA (Tese de mestrado, Univ. de São Paulo, Inst. de Fisica) : "A historia dos raios X", 14.9.1989.

- Patricia Guimaraes ABRAMOF (Tese de mestrado, univ. de São Paulo, Didactique de la physique, Inst. de physique) : "Um estudo do Opticks de Newton. Aspectos do pensamento newtoniano e dos seus metodos de trabalhar em fisica", 20.10.1989 (membre suppléant du jury).

- Bernard POURPRIX (Doctorat d'Etat ès-Sciences physiques, Université de Lille I) : "Contribution à l'histoire de la physique de la matière et des forces au dix-neuvième siècle. La mathématisation des phénomènes de diffusion (matière pondérable, chaleur, électricité)". Rapport écrit sur la thèse, soutenue en novembre 1989.

- Martha Cecilia BUSTAMANTE (Thèse d'Epistémologie et histoire des sciences, Université Paris-7) : "Le mésotron : sa découverte et sa nature (1929-1947)". (2.4.1990).

- Maria das Graças DE SOUZA NASCIMENTO (Qualificação e tese de Doutorado em filosofia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Depto de Filosofia, Universidade de São Paulo): "Natureza e Illustração : sobre o materialismo de Diderot". (Qualif. : 5.12.1989 ; tese : 10.9.1990).

- Marcia Helena Mendez FERRAZ (Qualificação de Mestrado em Historia da Ciência, Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Depto de Historia) : "Analise da evolução do pensamento quimico do seculo XVI ao XVIII : a vertente das teorias sobre calcinação e combustão, em especial, a teoria do flogistico". (São Paulo, 5.11.1990).

- Eduardo Dorneles BARCELOS (Qualificação de Mestrado em Historia da Ciência, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Depto de Historia, Universidade de São Paulo) : "A constitução da exobiologia". (Sao Paulo, 3.12.1990).

- Olival FREIRE Junior (Mestrado de Ensino da Fisica, Instituto de Fisica, Universidade de São Paulo): "Estudo sobre interpretações (1927-1949) da teoria quantica. Epistemologia e fisica" (São Paulo, 1.3.1991).

- Louis BARROIS (Thèse de doctorat, philosophie-histoire des sciences, Université Paris 4): *Empirisme et dynamique classique dans la théorie du champ électromagnétique de J. Clerk Maxwell* (Paris, 1.4.1993).

- Suzana Maria COELHO (Thèse de doctorat, Didactique des disciplines, option sciences physiques, Université Paris 7): *Contribution à l'étude didactique du mesurage en physique dans l'enseignement secondaire. Description et analyse de l'activité intellectuelle et pratique des élèves et des enseignants* (Paris, 7.5.1993).

- Silvio Seno CHIBENI (thèse de Doutorado (Doctorat), Instituto de Filosofia e Ciências humanas, UNICAMP (Univ. de Campinas): *Aspectos da descrição física da realidade* (Campinas, Brésil, 13.10.1993).

- Kheira MEGRI (thèse de doctorat en Epistémologie et Histoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot): *L'optique de al Farasi* (12.9.1994, président du jury).

- Irène PASSERON (thèse de doctorat en Epistémologie et Histoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot): *Clairaut et la figure de la Terre au dix-huitième siècle. Cristallisation d'un nouveau style autour d'une pratique physico-mathématique* (19.12.1994, président du jury).

- Denis GUEDJ (thèse de doctorat en Histoire des sciences, Université Paris-8): *La mesure des Lumières. Le système métrique décimal. De la création du concept à la diffusion dans la société (1790-1800).* (9.5.1995, Rapporteur).

- Benoît LELONG (thèse de doctorat en Epistémologie et Histoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot): *Vapeurs, foudres et particules : les pratiques expérimentales de l'ionisation des gaz à paris et à Cambridge, 1895-1914* (13.5.1995, Président du jury).

- Stéphane TIRARD (thèse de doctorat en Epistémologie et Histoire des sciences, Université Paris 7-Denis Diderot) : *Les travaux sur l'origine de la vie, de la fin du XIX ème siècle jusqu'aux années 1970* (14.10.1996, Rapporteur et Président du jury).

- Scott WALTER (Formation doctorale en Epistémologie et histoire des sciences, Université Paris-7 Denis Diderot), *Hermann Minkowski et la mathématisation de la théorie de la relativité, 1905-1915*, le 20.12.1996 (Rapporteur et Président du jury).

- Papa Amadou GAYE (Formation doctorale en Epistémologie et histoire des sciences, Université Paris-7 Denis Diderot), *La diffusion du discours sur le microbe au Sénégal au cours de la Troisième République, 1870-1940*, le 10.10.1997 (Rapporteur).

- Soraya BOUDIA (Formation doctorale en Epistémologie et histoire des sciences, Université Paris-7 Denis Diderot), *Marie Curie et son laboratoire : science, industrie, instruments et métrologie de la radioactivité en France, 1896-1914*, le 16.12.1997 (Président du jury).

- Yves PIERSAUX (Institut de Physique, Université Libre de Bruxelles), *La 'structure fine' de la theorie de la relativite restreinte*, 22.10 et 13.11 1998.

- Vincent BORELLA (UFR Connaissance de l'homme, Université de Nancy-2), *L'introduction de la relativité en France, 1905-1922*, 18.12.1998 (Rapporteur).

- Marianne CHOUTEAU (UFR Information, communication, Université Paris-7 Denis Diderot), *Les intentions vulgarisatrices : étude d'ouvrages de vulgarisation scientifique de 1686 aux années 1950*, le 25.3.1999 (Président du jury).

- Etienne KLEIN (Formation doctorale en Epistémologie et histoire des sciences, Université Paris-7 Denis Diderot), *Etudes sur la question de l'unité en physique. Fondement, histoire, perspectives de la démarche unificatrice*, le 25.5.1999 (Président du jury).

- Christophe MWANZA CHABUNDA (Université Louis Pasteur Strabourg-2, Sciences médicales), *Approche clinique iconographique et thérapeutique physique en médecine radiologique : Fondements conceptuels de la représentation par le moyen de l'image médicale du milieu intérieur, à travers l'histoire des sciences radiologiques*, le 17.1.2000 (Rapporteur).

- Gabriela ARBELAEZ (Doctorado en Educación y Historia de las Matemáticas, Universidade del Valle, Cali, Colombie), *El Tratado de aritmética de Indalecio Liévano*, « Tribunal » (jury) de inscripción en la tese de doctorado, Instituto de Educación y Pedagogía de las Ciencias, Universidade del Valle (Univalle), Cali (Colombie), 22 août 2000.

- Jean-Marie GUILLO (Université Charles de Gaulle - Lille 3), *Les contributions de Savary, Demonferrand et A. de la Rive à l'électrodynamique avant 1830*, Lille, 19 décembre 2000 (Rapporteur).

- Bahram DJENAB (Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris), *Les savoirs tacites dans la pratique du physicien, l'exemple des recherches de Faraday sur l'électricité et le magnétisme (1821-1838)*, thèse de doctorat en histoire des sciences, Paris, 9 avril 2004 (Rapporteur).

- Fábio LEITE, Depto Filosofia, USP, São Paulo, Jury (Banca) de *qualificação da tese de doutorado*, 14 avril 2005.

- Roberto PONCZEK (Prof. UFBa, Salvador, Brésil). Jury (Banca) de tese de doutorado, *Spinoza e Einstein: Um estudo comparativo* (Tese de Doutorado de Filosofia da Educação, U.F.Ba, Salvador, 28 avril 2005. (En mon absence, mon rapport (parecer) écrit a été lu aux membres du jury à la soutenance).

- Eduardo Hentique Peruque KICKHÖFFEL Banca (jury) de *qualificação da tese de doutorado* de: « Mecanismo e ciência visual nos manuscritos de anatomia de Leonardo da Vinci », Departamento de Filosofia, Universidade de São Paulo (SP, Brésil), nov. 2004.

- Jean Berclémence TATI. Membre du jury de la thèse de Doct. en Epistémologie et Histoire des Sciences, Université Paris 7-Diderot, de *Karl R. Popper et la question d'une philosophie de la réfutation* (Rapporteur par écrit de la thèse, soutenue le 23 juillet 2005 ; absent à la soutenance, étant au Brésil).

- Hossein Massoumi HAMEDANI, Membre Rapporteur du jury de la thèse de Doct. en Epistémologie et Histoire des Sciences, Université Paris 7-Diderot, sur *L'optique et la physique céleste : l'œuvre optico-cosmologique d'Ibn al-Haytam* (Rapport par écrit de la thèse, 6.3.2006 ; absent à la soutenance, étant au Brésil).

- Ugo MAIA DE ANDRADE. Banca (jury) de la thèse de Doctorat (Doutorado), Depto de Antropologia, Universidade de São Paulo, Brasil, 27 de abril de 2007 : « *O Real que não é visto. Xamanismo e relação no baixo Oiapoque* ». (Membre titulaire, étant absent lors de la soutenance, j'ai été remplacé. J'ai rédigé une appréciation).

- Guilherme RODRIGUES. Banca (jury) de Qualificação para o Doutorado, Depto de Filosofia, Universidade de São Paulo, Brasil : « *A Optica de Thomas Hobbes* », 23 de julho de 2007.

- Marcelo Alves FERREIRA. Banca (jury) de thèse de Doctorat (Doutorado), Depto de Filosofia, Universidade de São Paulo, Brasil : « *Transformismo e extinção : de Lamarck a Darwin* », 17 de setembro de 2007.

J'ai été également désigné comme membre suppléant de jurys de soutenance de plusieurs thèses de doctorats à l'Univ. de São Paulo.

III.8.2. EVALUATIONS, CONSULTATIONS, JURYS DE PRIX, ETC.

- Membre du *groupe de travail « Histoire des sciences et des techniques »* du Musée national des sciences et des techniques, Etablissement public de La Villette (janv. 1981-déc.1982).

- Membre du *jury d'Alembert de la Société Mathématique de France* (prix de vulgarisation scientifique), 1985.

- Membre du *jury du Deuxième prix d'histoire des sciences de la Third World Academy of Sciences* (dont le siège est à Trieste, Italie) (1990).

- *« Asesor international »* pour l'élaboration du Programme national de recherches en sciences fondamentales de *COLCIENCIAS et de l'ICFES* (Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior), Bogota et Cali, Colombie, 19-24 janvier 1992.

III.8. 3 RAPPORTS D'EXPERTISE

J'ai effectué des rapports d'expertise à la demande de divers organismes nationaux ou internationaux (je ne mentionne pas ceux qui font partie du travail ordinaire des Conseils scientifiques et des commissions de spécialistes du CNRS ou des Universités).

- *Universite du Caire (Egypte)* : Rapports sur des thèses de M. Sc. et de Ph. D. en Physique (1976-1979) :

Mohamed Tawfik Ahmed GHONIEM (Ms.Sc., 1976) ; Alaf Mohamed HESSIN (Ph.D., 1976) ; Mohamed N Yasin EL-BAKRY (Ms. Sc., 1977) ; Naida Mohamed METWALLI (Ph.D., 1977) ; Mohamed M. Ibrahim SHERIF (Ph.D., 1977) ; Abdall ABD EL-SALA MOHAMMAD (Ph.D., 1979) ; Nadia RAH lOUD SADEK (M.Sc., 1979) ; Mohamed Tawfik Ahmed GHONIEM (Ph.D., 1979) ; Mohamed Tarek Hussein ZAKARIA (Ph.D., 1979).

- *NISTADS,* New Delhi, Inde (1994-2001) : rapport sur des dossiers de chercheurs.

- *Universidade de São Paulo*, Brésil : avis sur des chercheurs et sur des thèses (…, 2002).

- *CAPES*, *CNPq*, Brésil : avis sur des chercheurs (…, 2002).

- *Coopération Culturelle, scientifique et technique du Ministère des Affaires Etrangères* du Gouvernement français : avis (bourses d'études, bourses Lavoisier,…) (…, 2000-2003).

- *Direction des Enseignements Supérieurs*, *Ministère de l'Education Nationale et de la Recherche*, Paris : rapport sur dossier de demande (…, 2001).

- *Centre National de la Recherche Scientifique*, France : avis, attestations, … (1966-2003).

- *Collège International de Philosophie*, Paris : rapports sur dossier de programmes et de colloques (…, 2000, 2002).

- *Comité National Français d'Histoire et de Philosophie des Sciences* (2003, 2004, 2008) : rapports de candidatures, éloges de membres disparus.

- *Dibner Foundation* (Etats-Unis): rapports et avis sur des candidatures (…, 2003).

- *Fondation Killian* (Canada): rapports et avis sur des candidatures (2003).

- *Agence FonCyT* (Argentine): rapports et avis sur des candidatures (2004).

- Rapporteur pour le *Prix de la Société Française d'Histoire des Sciences et des Techniques* (2006).

- Rapporteur sur un dossier de demande d'ANR (Agence Nationale pour la Recherche), 2007.

- *Rapports de lecture* sur des articles soumis à des revues (autres que celles auxquelles je suis associé) : *Revue d'Histoire des sciences* (Paris) (à diverses reprises), *European Journal of Physics* (Dublin) (2000), *Foundations of Science* (Bruxelles) (2001), *Foundations of Physics* () (2002), *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* (à diverses reprises), *Cadernos de historia e filosofia da ciência* (CLE, Unicamp, Campinas) (2002), *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* (2005), *Revue Philosophique de Louvain* (2004), *American Journal of Physics* (2005), *Minerva* (2006), etc.

- *Rapports de lecture* pour des maisons d'édition : Ed. du Seuil (dans les années 1970) ; EDP-Sciences (2002-2003).

- Lettres de référence ou d'appréciation de candidats à des postes d'enseignants ou de chercheurs , pour diverses *universités* en France et à l'étranger : … 2002.

- *Consultations* (bénévoles) pour des journalistes vulgarisateurs : diverses.

- etc.

- En fait d'expertise, j'aimerais mentionner que j'ai contribué, avec l'équipe REHSEIS, sur le mode sollicité de la consultation démocratique, à la réflexion du Comité National du CNRS sur les projets du Minsistre d'alors sur la réforme du CNRS en 1998 : « Contribution aux réflexions pour alimenter l'initiative des présidents de sections du Comité National de la Recherche Scientifique », 24 novembre 1998)[55].

[55] Ce document de 3 pages est reproduit en annexe au *Rapport de l'Equipe Rehseis, 1996-2000* ([2000t], p. 242-244).

IV
Perspectives de travail

J'ai tenté, dans ce document, de dépasser l'exercice simplement rituel d'une « Notice des Titres et Travaux », demandé par l'administration de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur pour étayer une candidature ou une demande de promotion, en en faisant le récit (sommaire) et la réflexion d'une expérience intellectuelle, celle d'un engagement sur les chemins de la connaissance. Comme toute expérience de ce genre – et comme toute expérience humaine en général, dans sa singularité -, elle présente des particularités propres à son auteur, ou tenant aux circonstances, mais elle est aussi, à sa modeste mesure, significative d'un milieu et d'une époque. La science que j'ai pratiquée pendant plus de vingt ans (la Physique subatomique), les problèmes étudiés, les moyens employés, n'étaient pas les mêmes que ceux des périodes précédentes, et ceux qui sont en vigueur aujourd'hui en diffèrent déjà substantiellement. Les résultats obtenus, pour nouveaux qu'ils aient pu être sur le moment, se sont fondus très peu de temps après dans la représentation d'ensemble à l'établissement de laquelle ils ont contribué. Et pourtant sans ces efforts et ces résultats, joints aux autres semblables, tous pratiquement imperceptibles désormais, ces connaissances scientifiques, ces représentations du monde, n'auraient pu être constituées. Bien entendu, outre cette somme patiente de résultats ponctuels, résultats d'expériences ou contributions théoriques, il fallait aussi des idées théoriques plus fondamentales pour structurer ces connaissances et leur faire prendre corps. Les deux, d'une manière ou d'une autre, sont en interaction et mutuellement tributaires.

Quant à la réflexion sur la science (qui m'a occupé les vingt années suivantes), sur cette même science particulière, la physique, et sur ses consœurs, et aussi bien sur leurs ancêtres qualifiées de *classiques*, et à l'analyse de ses procédures et de ses significations, ses modalités propres sont également inscrites dans l'époque. En sorte que l'exercice rituel et académique est en même temps un compte-rendu « de mandat » (celui confié par la communauté sociale, nationale, mais aussi internationale, au chercheur et enseignant) et un témoignage sur ce qu'il a fait, ce qu'il s'est proposé de faire, sur les chemins qu'il a suivis ou défrichés.

Le cours en deux parties d'une même carrière de chercheur, dans le cas de l'auteur de ces lignes (d'abord en physique, ensuite en épistémologie) témoigne (parmi d'autres) pour une exigence de la science de notre temps : à savoir que cette science porte avec elle la nécessité de la réflexion sur ce qu'elle est, et que cette réflexion, qui est d'essence avant tout philosophique, doit se fonder sur les analyses les plus exactes de l'épistémologie et de l'histoire, mais aussi de la sociologie, de l'anthropologie, de l'économie et des autres sciences humaines. C'est le témoignage d'un vécu dont on aimerait faire partager la partie intellectuelle, celle qui concerne les problèmes et les idées ; l'autre partie, celle

qui a connu l'épreuve du sensible et les tribulations au gré des circonstances et des efforts, n'étant que ramenée aux traces tangibles qu'elle a pu laisser, sous forme de nomenclatures (d'intitulés d'activités, de colloques, d'enseignements professés, de conférences, de publications…). Le lecteur éventuel se sera contenté, bien sûr, de survoler ces dernières, qui sont là cependant pour donner la garantie pour ainsi dire « matérielle » que les idées dont il est question ont été (et sont) portées par une recherche effective, patiente (jour après jour, année après année), faite aussi d'échanges et de confrontations, désireuse (et parfois heureuse) de se communiquer.

Cette *Notice* est la dernière de ma carrière officielle de chercheur (à part la prolongation « réelle-virtuelle » qui m'a été accordée avec l'éméritat, et que de toutes façons je me permettrai à moi-même, dans les limites de la destinée…). C'est donc sans souci de promotion que je la présente, dans l'esprit que je viens d'indiquer, sous forme imprimée, rendant ainsi plus tangible et actualisant la précédente, qui n'avait connu que l'état de fichier informatique. Mais j'ai suffisamment parlé du passé pour me tourner maintenant vers l'avenir.

J'ai l'intention, au cours des années qui viennent, de me consacrer pour l'essentiel à la recherche intellectuelle dans la direction des travaux menés jusqu'ici, dégagé des responsabilités d'organisation et d'animation, pour lesquelles j'ai donné mon tribut, avec, concernant les vingt dernières années, un résultat assurément utile : avoir contribué à créer, avec mes autres collègues, un lieu (en France, avec essaimage à l'extérieur) pour une formation et une recherche de qualité dans les disciplines non traditionnelles qui allient la compétence scientifique spécialisée et l'aptitude à l'approche critique des sciences, philosophique, épistémologique et historique.

Sous cet aspect, tout en continuant à enseigner, si la demande s'en fait sentir, en France et à l'étranger, et à encadrer des doctorants, je voudrais poursuivre le projet éditorial de la revue internationale *Epistémologiques (Philosophie*, *Sciences, Histoire*.- *Philosophy, Science, History*, Paris/São Paulo), et de la collection « Penser avec les sciences », dont les « déclarations d'intention » sont données dans l'Annexe A. Il s'agit de permettre l'expression, au niveau international, d'un courant de pensée qui maintienne, dans la plus grande ouverture aux travaux novateurs, l'exigence de tenir ensemble le questionnement philosophique dans toute sa profondeur et sa rigueur, les sciences jusque dans leurs considérations les plus actuelles, et l'histoire sous ses diverses formes, de l'histoire intellectuelle à l'histoire sociale. La langue française peut et doit y tenir toute sa place, non exclusive, évidemment, mais importante.

Quant à mes propres travaux, je me propose, d'une part, de conclure les ensembles de contributions précédentes, en les complétant et en mettant au point plusieurs ouvrages rassemblant les plus significatives d'entre elles par thèmes, correspondant aux sujets principaux exposés plus haut (en II.3)[56]. (Je les ai, pour

[56] Ceci sans compter les volumes déjà prêts, non encore parus à ce jour, mais qui devraient être publiés en 2003 et 2004 : *La physique du XXe siècle*, Collection « Sciences et histoires », EDP-Sciences, Paris, 2003 ; *Matière et concepts (Rationalité et historicité des contenus conceptuels en physique)*, Collection « Penser avec les sciences », EDP-Sciences, Paris, à paraître en 2004 ;

nombre d'entre eux, préparés dans la perspective d'un livre dont ils pourraient être des chapitres). Cela devrait donner, notamment : *Retour à d'Alembert* ; *Empirisme et convention (Géométrie, physique et philosophie chez Henri Poincaré)* ; *L'objet de la Relativité restreinte, invention et réception (Un problème d'épistémologie et d'histoire des sciences)* ; *L'Intelligibilité du domaine quantique* (en français et en anglais) ; *Mathématisation et prédictivité* ; *Pensée scientifique et significations* ; *Universalité et vérité (Science, philosophie et histoire).*

D'autre part, en ce qui concerne les recherches à venir, j'ai l'intention - sans exclure d'autres directions -, de reprendre et de développer les aspects évoqués plus haut (en II.3 et II.4), en poursuivant l'examen des problèmes historiques, épistémologiques et philosophiques posés par la mathématisation de la physique aux différentes époques, du XVIIe siècle à aujourd'hui. Il reste beaucoup à apprendre sur les rapport entre le formel (entendant par là ce qui est symbolique et mathématisé) et l'empirique, voire entre le formel et l'« intuitif » (entendu dans le sens particulier que les physiciens, par exemple, donnent à l'expression « intuition physique »), ou entre la structure et l'évolution des théories. J'aimerais également poursuivre et approfondir l'investigation des *problèmes philosophiques de la création scientifique*. Après l'étude de cette question chez plusieurs savants (notamment d'Alembert, Poincaré, Einstein), et l'examen de la notion de « nouveauté » en science, j'aimerais approfondir le *rapport entre création scientifique et création artistique*, le *rapport entre épistémologie et esthétique*, et examiner les différents moments qui marquent le passage de la création d'une nouvelle connaissance à sa reconnaissance en tant que telle.

Sous ces thèmes et ces problèmes se tient la question fondamentale et décisive de *la nature du rationnel* et des *formes de la rationalité* qui sous-tendent la connaissance scientifique, et qui en même temps rendent possibles les modifications, les affinements et les progrès de cette connaissance. C'est à cette question surtout que j'aimerais maintenant me consacrer. J'en suis venu à penser qu'il faut voir dans l'idée d'*un rationnel qui s'élargit* par l'activité même de la pensée sur les problèmes qu'elle se pose (suscités principalement par le monde extérieur), tout *en demeurant lui-même* comme source et fondement de l'intelligibilité, la condition de possibilité de l'apparition de connaissances nouvelles et de leur approfondissement. Cette étude devrait faire l'objet d'un ouvrage, *La Raison créatrice et le problème des fondements de la connaissance*. L'exploration plus avant de ce thème, lié à la question de la création ainsi qu'à d'autres très fondamentales (mais dont il n'est pas rare de voir la pertinence niée de nos jours), comme celles de l'universalité et de la vérité, questions où la philosophie et l'histoire se suscitent mutuellement autour des sciences, m'occupera sans doute prioritairement dans les années qui viennent.

Ivry/Paris, le 12 mars 2003.

Michel Paty

Einstein, les quanta et le réel (Critique et construction théorique) ; *Einstein et Spinoza et autres*

M.P., *Chat. Elasticité*, 1996.

V
Bibliographie. Publications

Liste des publications principales (livres et articles) en physique, philosophie, épistémologie, histoire des sciences, divulgation scientifique, études et écrits divers, donnée dans l'ordre chronologique, sans classification, mais avec les indications de nomenclatures suivantes : Cr : Compte-rendus (longs). – D : Divulgation. – E : Enseignement. – G : Questions générales. – L : Arts, littérature.- R : Recherche. – V : Varia. Pour une liste des ouvrages et une liste sélective d'articles de recherche, voir la bibliographie résumée plus haut à la fin du Curriculum vitae (I-4)

Remarque. De 1962 à 1983, mes recherches ont porté principalement sur la physique des particules élémentaires. Depuis 1983, elles ont porté principalement sur la philosophie et l'histoire des sciences.

1962-1970

- [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 resuts on ΞK^{-0} nπ final states produced by 3.5 GeV K^- (en coll. avec Pierre Beillière *et al.*), *Physics Letters* 6, 1963, 316-318. R

- [1963c]. Preliminary resuts on ΞK^{-0} nπ 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

- [1963e]. 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

- [1963f]. A summary of theoretical implications of neutrino interactions, *CERN*

NPA/Int 63-8 (Genève), 1963, 15 p. R

- [1963g]. Preliminary data from the neutrino pre-run (collectif, CERN neutrino group), *CERN NPA/Int 63-13* (Genève), 4 p. + 17 figs. R

- [1963h]. Preliminary results from the heavy liquid bubble chamber in the CENR neutrino experiment (en coll. avec R.G.P. Voss et al.), *CERN NPA/Int 63-24* (Genève), 10 p. + 19 figs.

- [1963i]. Interactions de neutrinos dans la chambre à bulles, Conférence d'information générale, CERN, Genève, ronéotypé, 1963, 13 p. D

- [1963j]. [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 :) *Etudes d'interactions de neutrinos de grande énergie dans une chambre à bulles à liquide lourd*, *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 $\%\nu_\mu$ 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 Fisica y Quimica* 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 (Br), 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

- [1968c]. Tableau des particules élémentaires, *Enseignement de Physique Corpusculaire*, Université de Strasbourg, Faculté des Sciences, 1968-69, Document ronéotypé, 5 + 6 p.

- [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

- [1969c]. *Greniers bohèmes*, poèmes, 1958-1969, cahier manuscrit, non paginé.

- [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 $K\,3\pi$ et $K\,4\pi$ 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 π^+ 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

- [1970i]. *La nature et le sens*, dactylograhié, non publié, nov. 1970, 81 p.

- [1970j]. *Nouveau monde*, récit, dactyl., non publié, 1970, 271 p.

1971-1980

- [1971a]. A study of 10 GeV/c K^+-nucleus coherent interactions and the Q^+-nucleon cross-section (en coll. avec Maurice Haguenauer *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 Haguenauer *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 %ν interactions in propane using Gargamelle (en coll.), *CERN/TCC/72-31* (Genève), 1972, 19 p. R

- [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). R

- [1972d]. Matière, espace et temps selon Newton, *Scientia* 107, 1972, 995-102.

- (Trad. angl. : [1972e). R

- [1972e]. Matter, space and time according to Newton (English transl. by J.E. Holström), *Scientia* , 107, 1972,1027-1054. (Original en fr. : [1972 d]). R

- [1972f]. La répression universitaire au Brésil, *Politique aujourd'hui*, n° 3, mars 1972, 73-91. G

- [1972g]. Sciences pures et guerre technologique, dactytl., non publié, octobre 1972, 9 p.

- [1973a]. On the *B* (1235) and ρ (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). R

- [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

- [1973i]. *Rétiaire étiage*, poèmes, Millas Martin, Paris, 1973, 48 p. L

- [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, English transl. by J. E. Holstrom, *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 scientiæ*, n° 13, 1974, 1-5 (et édition du Cahier, p. 1-51). G

- [1974l]. « Un demi-siècle de Mécanique quantique » : Colloque à Strasbourg, mai 1974, *Lettre Epistémologique* (Association Gonseth, Institut de la Méthode, Bienne-Biel), décembre 1974, 12-14. Cr

- [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* (Strabourg), 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 cientifica Venezolana*, 25, 1975, DE

- [1975c]. Features of the π^0 π^0 system produced in 5 π 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 $\rightarrow$ $\pi^+\pi^+\pi^-\pi^0\pi^0$-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 emuulsion 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.

- [1975j]. *Espaces où gravitent…*, poèmes, Editions de l'Athanor, Paris, 1975, 47 p. L

- [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

- [1975w]. [Compte-rendu de lecture] «E. C. G. Sudarshan, Y. Ne'eman (eds.) *The Past Decade in Particle Theory*», *La Recherche* 6 (n° 53, février), 1975, 186.

- [1975x]. [Compte-rendu de lecture] «E. R. Caianiello, *Combinatorics and Renormalization in Quantum Field Theory*», *La Recherche* 6 (n° 54, mars), 1975, 286.

- [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/I 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 Scientiæ*, 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 Scientiæ*, 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

- [1976q]. [Compte-rendu de lecture] «R. J. Eden, *High Energy Collisions of Elementary particles*», *La Recherche* 7 (n° 69, juillet-août), 1976, 697. Cr

- [1976r]. [Compte-rendu de lecture] «N. K. Bogolubov, A. A. Logunov, I. T. Todorov, *Introduction to Axiomatic Quantum Field Theory*», *La Recherche* 7 (n° 72, novembre), 1976, 990. Cr

- [1976s]. La vitesse des neutrinos (Nouvelles internationales), *La Recherche* 7 (n°69, juillet-août), 1976, 658. D

- [1976t]. [Compte-rendu de lecture] «H. Frauenfelder, E. M. Henley, *Nuclear and Particle Physics*», *La Recherche* 7 (n° 5, janvier), 1976, 90-91. Cr

- [1976u]. [Compte-rendu de lecture] «P. Urban (ed.), *Electromagnetic Interactions and Field Theory*», *La Recherche* 7 (n° 64, février), 1976, 188. Cr

- [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* (Strabourg), 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

- [1977p]. *La vie lapidaire*, poèmes, non publié, 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, $\overline{\nu_e}$ events in a beam dump experiment at 400 GeV (en coll. avec P. Alibran *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. Haguenauer, 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

- [1978zb]. [Compte-rendu de lecture] « Mary K. Gaillard et Milan Nikolic (eds.), *Textbook on elementary particle physics : Weak interactions. Manuel de physique des particules : Interactions faibles* », *La Recherche* 9 (n° 87, mars), 1978, 298.

- [1978zh]. Polluer et dépolluer… L'écologie est un problème politique, *L'Humanité 7 jours d'Alsace et de Lorraine*, n°10, 10 mars 1978, 17.

- [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 fo short-lived particles in high energy neutrino interactions identified using a hybrid emulsion-spark chamber arangement (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 éclairement de notre immersion …, *Art press international*, n° 31, juillet-août 1979 (« *La question de la science* », p. 3-41), 23-24. L

- [1979q]. Dans un monde froid et mortel, Intervention à l'*Assemblée de la Fondation, Commission des Droits de l'homme, Séance sur Les droits de l'homme à un environnement parfaitement sauvegardé*, Strabourg, 9 mars 1979, dactyl., 23p. G

- [1979u]. Einstein, science et engagement politique, *L'Humanité 7 jours d'Alsace et de Lorraine*, n°13, 30 mars 1979.

- [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 $\pi^{\pm}$-Ne interactions (en col. avec T. H. Burnett *et al.*), *Proceedings of the XI th 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 è année, n° 1, janv. mars 1980, 1-42. R

- Repris dans [1990 a], chapitre 10, p. 150-158.

- [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, 4ème 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, *Ciencia* (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 scientiæ* 1, 1980, n° 2, 121-125.

- [1980j]. Intervention, *in* "Dossier Colloque d'Ulm, 7 et 8 juin 1980", *Positions* (Bordeaux), n° 11-12, sept.-oct. 1980, 20-21.

1981-1985

- [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).

- (Ré-édition avec un addendum à l'avertissement :) cf. [1991a].

- [1981b]. De l'atome aux particules, *in* Noel, 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

- (Version augm. :) [1984 a]).

- [1981e]. La position de d'Alembert par rapport au matérialisme, *Revue philosophique* 171 (106è 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 Foundation Hugot du Collègue 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 experienze di pensiero, *in* Ludovico Geymonat, *Per Galileo. Attualitá 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.

- [1981m]. L'étoffe et l'origine, *La Pensée*, n° 221-222, juillet-août 1981, 187-191. G

- [1981n]. Les rues et les ombres du poète au vin qui bout, *Europe*, 59e année, n° 623-624, mars-avril 1981, 283-287. L

- [1981o]. Monoculture ? (En français et trad. en anglais par Lucrezia Brachfeld), Controverses. Controversies, *Fundamenta Scientiæ* 2, 1981, n°1, 9-15. G

- [1981p]. Editorial (en collab. avec Baudouin Jurdant, n.s.), *Fundamenta Scientiæ* 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 XVIIIè 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

- (Repris dans :) [1990a], chapitre 11, p. 159-163.

- [1982c]. Les mots balisent l'espace, *La Pensée*, n° 226, mars-avril 1982, 118-128. L

- [1982d]. Un héraut de l'anti-temps, ou le rebours de la méthode, *Revue de Synthèse*, t. CIII, 3ème 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

- (Repris dans :) [1990a], chapitre 13, p. 176-190. (Trad. en angl : [1982g]). Trad. en italien : [1982f]).

- [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

- (Repris dans :) [1990a], chapitre 14, p. 191-203.

- [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.

- (Publ. d'une version légèrement modifiée :) voir [1987f].

- [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 Mehrtens 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, *Universalia 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

- (Re-publication. :) *in ibid.*, 2è éd. refondue et augm., 1985, p. 384-387. - (Re-publication. :) *in ibid.*, Collection Quadrige, 1999. GD

- [1982r]. Positivisme, *in* Labica, Georges & Bensussan, Gérard (éds.), *Dictionnaire critique du marxisme*, Presses Universitaires de France, Paris, 1982, p. 705-707. GD

- (Re-publication. :) *in ibid.*, 2è éd. refondue et augm., 1985, p. 896-898. - (Re-publication. :) *in ibid.*, Collection Quadrige, 1999. 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* (Paris), n°178, sept.-oct. 1983, 885-895. G

- (Repris dans :) [1990a], chapitre 8, p. 121-131. 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.

- (Publication répartie dans [1985g] et [1988e].- (Trad. angl.:) [1986a]. R

- [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

- [1983k]. *Puzzle*, poèmes, 1977-1983, manuscrit dactyl., 65 p. L

- [1983l]. *Recherches sur la réalité physique*, *Notice des titres et travaux, à l'intention du CNRS, pour demander le changement d'orientation de recherches*, avril 1983, 96 p.

- [1984a]. D'Alembert (Jean le Rond, 1717-1783), *Encyclopaedia universalis*, vol.1, Paris, ed. 1984, p. 693-694. (Version augmentée de [1981c]. DE

- (Repris dans :) Encyclopædia Universalis, *Dictionnaire des philosophes*, Encyclopædia Universalis/ Albin Michel, Paris, 1998, p. 40-45.

- [1984b]. Rapport des mathématiques et de la physique dans la pensée de d'Alembert, *Dix-huitième siècle*, n° 16, 1984 (numéro sur: *D'Alembert et les sciences de son temps*), p. 69-79. R

- [1984c]. D'Alembert: un bicentenaire, *La Pensée*, n° 239, mai-juin 1984, 73-81. RD

- [1984d]. D'Alembert: science et philosophie à l'époque des Lumières, *La Recherche*, 15, 1984 (n° 152, février), 166-177. RD

- [1984f]. Mathématisation et accord avec l'expérience, *Fundamenta scientiae* 5, 1984, 31-50. R

- [1984g]. Einstein, Albert (1879-1955), *in* Huisman, Denis (dir.), *Dictionnaire des philosophes*, Presses Universitaires de France, Paris, 1984, vol. 1, p. 831-837. D

- [1984h]. Duhem, Pierre (1861-1916), *Encyclopædia universalis*, nlle éd., Paris, 1984, vol. 6, p. 456-457. D

- (Repris dans :) Encyclopædia Universalis, *Dictionnaire des philosophes*, Encyclopædia Universalis/ Albin Michel, Paris, 1998, p. 479-484.

- [1984i]. Démocratie et technologie: sur un numéro spécial d'*Esprit*, *Politique aujourd'hui*, nlle série, n°3, déc. 1983-janvier 1984, 130-132. Cr

- [1985a]. Particules élémentaires, *La Grande Encyclopédie Larousse, Supplément*, Paris, 1985, p. 381-383. D

- [1985b]. Mécanique quantique (non localité et problème de la mesure), *La Grande Encyclopédie Larousse, Supplément*, Paris, 1985, p. 325-327. D

- [1985c]. Les neutrinos, *Encyclopaedia Universalis*, nlle ed., vol. 12, Paris, 1985, p. 1206-1212. (Voir nouvelle version mise à jour: [1995e]). D

- [1985d]. Symétrie et groupes de transformation dans les théories contemporaines de la matière : jalons épistémologiques, *Colloque Abel-Galois, Lille, 21-25 février 1983, Première partie*, Institut de Recherches de Mathématiques Avancées (IRMA), Lille, 1985, fasc 5, 54 p. R

- [1985e]. Considérations sur la recherche française en histoire des sciences physiques et chimiques, *Bulletin de la société française d'histoire des sciences et des techniques, n° spécial « La mémoire de la Science »*, 1985, 65-93. G

- [1985f]. Mach, Ernst (1838-1916), *Encyclopaedia Universalis,* nlle ed., Paris, vol. 11, p. 394-397. ED

- (Repris dans :) Encyclopædia Universalis, *Dictionnaire des philosophes*, Encyclopædia Universalis/ Albin Michel, Paris, 1998, p. 946-953.

- [1985g]. La doctrine du parallélisme de Spinoza et le programme épistémologique d'Einstein, *Cahiers Spinoza*, éditions Réplique, Paris, n° 5, hiver 1984-1985, 93-108. (Partie de [1983d]). R

- [1985h]. Einstein dans la tempête (les critiques d'un père fondateur: Einstein et les quanta), *in* Stéphane Deligeorges (dir.), *Le monde quantique*, Seuil, Paris, 1985, p. 51-65. (Identique à [1984e]). D

- [1985i]. Non-séparabilité locale et complétude de la mécanique quantique, *in* Bitsakis, Eftichios I. et Tamsakis, N. (eds), *Determinism in Physics*, Gutemberg publ. C°, Athènes, 1985, p 145-156. [Partie de 1986 b]. R

- [1985j]. Le Chatelier et la loi des équilibres chimiques, *La Recherche*, 16, 1985 (n° 165, avril), 520-523. DG

- [1985k]. La tradition retrouvée des algébristes arabes, *La Recherche*, 16, 1985 (n° 167, juin), 820-821 ; suivi d'une correspondance avec Pierre Costabel, *ibid.*

(n° 169, septembre), 1103-1104. DG

- [1985l]. Passage du réel. L'objet de la physique, *L'Ecrit du temps* (Minuit, Paris), n° 8-9, printemps 1985, 25-41. R

- [1985m]. Einstein et la complémentarité au sens de Bohr : du retrait dans le tumulte aux arguments d'incomplétude, *Revue d'histoire des sciences* 38, 1985 (n° 3-4, n° spécial *La Complémentarité*), 325-351. R

- [1985n]. Sur l'influence scientifique française au Brésil entre le dix-neuvième et le vingtième siècles, (en coll. avec Patrick Petitjean), *Cahiers des Amériques Latines*, nlle série, n° 4, hiver 1985, 31-48. R

- [1985o]. Invention et réception d'une nouvelle théorie et tradition scientifique : le cas de la relativité restreinte et des savants français Poincaré et Langevin, *Revista da Sociedade Brasileira de Historia da Ciencia*, n° 2, julho-dezembro 1985, 6-20. R

- [1985p]. L'esprit encyclopédiste et les sciences d'aujourd'hui, *in Le projet encyclopédique. Contributions au symposium des auteurs, organisé le 15 octobre 1984 dans le grand amphithéâtre de la Sorbonne par l'Encyclopædia Universalis*, Encyclopædia Universalis, Paris, 1985, p. 28-31. G

- [1985q]. La physique de Mario Schenberg, *Fundamenta scientiæ* 6, 1985, 273-275. G

- [1985r]. Quantique et métaphore: des images tirées de la vulgate, *La Pensée*, n° 245, mai-juin 1985, 119-121. G

- [1985s]. [As linhas do futuro e a inquietação da historia], pour le catalogue d'exposition de peintures de Mario Gruber, *Arqueologia da pintura. Ano 85. Permeâncias Caravaggescas*, Galeria Montesanti, São Paulo (Br), 1985, p. 16. L

- [1985t]. Interventions, *in* Alain Connes, «Réflexions sur les liens entre mathématiques et physique», *Bulletin de la Société Française de Philosophie,* 79è année, n°3, Juillet-septembre 1985, p. 89-90.

- [1985u]. Quand les physiciens cherchent à rassembler leurs forces…, Propos recueillis par Pierre Salanne, *Le Journal de l'Encyclopédie* (Paris), n°4, novembre 1985, 8-9. G

- [1985v]. Einstein ou l'intransigeance théorique (avec Gilles Cohen-Tannoudji), propos recueillis par Hélène Guillemot, *Révolution*, n°288, 6 septembre 1985, 36-39. G

1986-1990

- [1986a]. Einstein and Spinoza (engl. transl. by Robert Cohen et M.P.), *in* Grene Marjorie and Nails, Debra (eds), *Spinoza and the sciences*, Reidel, Dordrecht, 1986, p. 267-302.

> - (Texte original en français :) [1983d], et publication répartie dans [1985g] et [1988e]. R

- [1986b]. La non-séparabilité locale et l'objet de la théorie physique, *Fundamenta*

Scientiae 7, 1986, 47-87. R

- [1986c]. Mach et Duhem: l'épistémologie de savants-philosophes, *Manuscrito* (Campinas), 9, 1986 (n° 1, abril), 11-49 ; également *in* Bloch, Olivier (dir.), *Epistémologie et matérialisme*, Klinsieck, Paris, 1986, p. 177-217. R

- [1986d]. Matérialisme et abstraction. La question de l'appropriation de la connaissance scientifique, *in* Bloch, Olivier (dir.), *Epistémologie et matérialisme*, Klinsieck, Paris, 1986, p. 291-321. R

- [1986e]. Eintein, sa vie, sa pensée (Einstein actuel ou dépassé ?), *Ciencia e cultura* (São Paulo), 38, 1986, (n°4, abril), 614-628. DG

- [1986f]. Einstein et l'arme atomique : la responsabilité des scientifiques, *La Pensée* n° 250, mars-avril 1986, 51-62. RG

- [1986g]. Critique du principe anthropique, *La Pensée*, n° 251, mai-juin 1986, 77-95. R

- [1986h]. La Révolution française et l'avènement de l'âge de la science : quelques éléments de réflexions, *Spécial-Options* , n° 16, septembre 1986, 31-36. DG

- [1986i]. A inseparabilidade quantica em perspectiva, ou: Popper, Einstein e o debate quantico actual (trad. portug. por Maria Beatriz Ducati), *Ciencia e filosofia* (São Paulo), n° 3, 1986, 55-72. R

- (Original en français :) [1982a]).

- [1986j]. *La science en questions* (en collab. avec Paul Brouzeng et Michel Pipart), La Farandole, Messidor, Paris, 1985. (Rédaction en propre de : L'Univers et l'espace, p. 10-41). D

- [1986k]. Contribution au débat « Révolution et révolutions (industrielle, scientifique, technique) », *Spécial-Options* , n° 16, septembre 1986 (41-50), 49-50. DG

- [1987a] La tradition mathématique arabe, *Archives de Philosophie* 50, 1987 (cahier 2, avril-juin), 199-217. RE

- (Repris dans :) [1990a], chapitre 6, p. 87-104.

- [1987b]. The scientific reception of Relativity in France, *in* Glick, Thomas (ed.), *The Comparative reception of relativity*, Reidel, Dordrecht, 1987, p. 113-167. R

- [1987c]. Sur la philosophie mathématique et physique : contribution au débat italien vu de France, *in* Minazzi, Fabio e Zanzi, Luigi (eds.), *La Scienza tra filosofia e storia in Italia nel novecento, atti del congresso internazionale, Varese, 24-26 octobrte 1985*, Presidenza del Consiglio dei Ministri, Roma, 1987, p. 213-228.

- (Repris dans :) [1990a], chapitre 7, p. 105-120. R

- [1987d]. D'Alembert et le rapport science-philosophie au dix-huitième siècle, *Revue de l'Enseignement philosophique*, 38ème année, n° 1, sept-oct. 1987, 26-36. RE

- [1987e]. Einstein et la pensée de Newton, *La Pensée*, n° 259, 1987, 17-37. R

- [1987f]. La mesure des objets quantiques, *Raison Présente*, n° 84, 4ème trimestre 1987, 77-99. DR

- [1987g]. La critique par d'Alembert des conditions d'une théorie des probabilités physiques, *Fundamenta Scientiae* 8, 1987, 257-282. R

- [1987h]. [c.r. de lecture] « Armin Hermann, John Krige, Ulrike Mersits, Dominique Pestre : *History of CERN*, vol. 1 : *Launching the European Organization for Nuclear Research*, North Holland, Amsterdam, 1987) », *Fundamenta Scientiæ* 8, 1987, n°2, 237-239.

- [1987i]. Lettre de la rédaction. Letter from the editors (en coll. avec B. Jurdant, non signé), *Fundamenta Scientiæ* 8, 1987, n°1, i-ii.

- [1987j]. Revista de história da ciência é lançada no Brasil, *Folha de São Paulo*, 5.10.1987, A-13 [Entrevista sobre a *Fundamenta Scientiæ*].

- [1988a]. *La matière dérobée. L'appropriation critique de l'objet de la physique contemporaine*, Archives contemporaines, Paris, 1988, xx + 442 p. R

- [1988b]. D'Alembert et les probabilités, *in* Rashed, Roshdi (éd.), *Sciences à l'époque de la Révolution française. Recherches historiques*, Blanchard, Paris, 1988, p. 203-265. R

- [1988c]. Science et philosophie: la nouveauté et sa référence, *in* Robinet, André (dir.), *Doctrines et concepts, 1937-1987. Rétrospective et prospective: cinquante ans de philosophie de langue française*, Vrin, Paris, 1988, p. 335-346.

- (Repris dans :) [1990a], chapitre 1, p. 15-27. R

- [1988d]. Epistémologie des crises en physique, *in Crise et stratégie: la question de la science, Actes de la Journée scientifique du 16 mai 1987*, Laboratoire de Psychologie Clinique, Sociale et Développementale, Université Paris XIII-Villetaneuse, 1988, p. 9-28. R

- (Repris dans :) [1990a], chapitre 2, p. 28-36.

- [1988e]. Einstein et Spinoza, *in* Bouveresse, Renée (dir.), *Spinoza, science et religion. De la méthode géométrique à l'interprétation de l'Ecriture Sainte. Actes du Colloque du Centre culturel international de Cerisy-la-Salle, 20-27 septembre 1982*, Institut interdisciplinaire d'études épistémologiques, Lyon, et Vrin, Paris, 1988, p. 183-207. (Partie de [1983d]) R

- [1988f]. Sur la notion de complétude d'une théorie physique, *in* Fleury, Norbert; Joffily; Sergio; Martins Simões, J.A. and Troper, A. (eds), *Leite Lopes Festchrift. A pioneer physicist in the third world* [dedicated to J. Leite Lopes on the occasion of his seventieth birthday], World scientific publishers, Singapore, 1988, p. 143-164. R

- [1988g]. Sur le style de recherche de Louis de Broglie, *in Louis de Broglie tel que nous l'avons connu*, Fondation Louis de Broglie, CNAM, Paris, 1988, p. 163-166. G

- [1988h]. La naissance du CERN ou la victoire de l'utopie européenne, *La Recherche* 19, 1988 (n° 200, juin), 728, 731-732. Cr

- [1988i]. Allocution d'ouverture, *Colloque Condorcet*, Paris, 8-11 juin 1988 (dactyl., non publié, 4 p.).

- [1988j]. Observações sobre a história da ciência na America Latina, Entrevista concedida a Maria Cecilia Loschiavo dos Santos, São Paulo, 4.7.1988. (Remarques sur l'histoire des sciences en Amérique latine, dactyl., 8 + 7 p., non publiée).

- [1988k]. [Intégration européenne *cum grano salis* à la française…], Intervention à la séance du Cercle Condorcet de Paris sur *La France en Europe, l'Europe dans le monde*, 1.2.1988. (Transcription revue, Archives du Cercle Condorcet).

- [1989a]. L'inséparabilité et la mesure des systèmes quantiques, *in* Jacob, André (dir.) *Encyclopédie philosophique universelle*, volume 1: André Jacob (dir.), *L'Univers philosophique*, Presses Universitaires de France, Paris, 1989, p. 1172-1177. RE

- (Repris dans :) [1990a], chap. 12, p. 164-175.

- [1989b]. Einstein e a experiência de Michelson (tradução portug. de Alberto Delerue, revisada por Fernando Py), *Perspicillum* (Rio de Janeiro) 3, 1989 (n°1, abril), 77-104. R

- [1989c]. Entrevista (concedida a Carlos Ziller Camenietzki, Samyra Brollo Serpa Crespo e Alfredo Tiomno Tolmasquin), *Perspicillum* (Rio de Janeiro) 3, 1989 (n°1, abril), 61-75. (As ciências e a reflexão histórica e filosofica sobre as ciências. Les sciences et la réflexion historique et philosophique sur les sciences. En portugais). G

- [1989d]. D'Alembert et la théorie physique, *in* Emery, Monique; Monzani, Pierre (ed.), *Jean d'Alembert, savant et philosophe: portrait à plusieurs voix. Actes du Colloque organisé par le Centre international de synthèse]. Fondation Pour la science, Paris, 15-18 juin 1983*, Archives contemporaines, Paris, 1989, p. 233-260. R

- [1989e]. Einstein, Popper et le débat quantique aujourd'hui, *in* Bouveresse, Renée (dir.), *Karl Popper et la science d'aujourd'hui, Colloque de Cerisy, 1-11 juillet 1981*, Aubier, Paris, 1989, p. 255-272. (Identique à [1982a]). R

- [1989f]. Sur l'histoire et la philosophie de la découverte scientifique: champs de rationalité, styles scientifiques, traditions et influences, in D'Ambrosio, Ubiratan (org.), *Anais do segundo Congresso latino-americano de historia da ciências e da tecnologia, Sao Paulo, 3O de junho a 4 de julho de1988*, Nova Stella, São Paulo, 1989, p. 26-40.

- (Repris dans :) [1990a], chap. 4, p. 59-80. R

- [1989g]. Interprétation et construction dans le rapport des mathématiques à la physique, *Fundamenta scientiae* 10, 1989 (n° 1, Numéro spécial en hommage à Ludovico Geymonat), 35-55. Egalement, *Revue de l'enseignement philosophique*, 40 ème année, n° 3, janvier-février 1990, 73-89.

- [1989h]. Préface (en collab. avec Jean Petitot), *Fundamenta Scientiae* 10, 1989 (n°1, Numéro spécial en l'honneur de Ludovico Geymonat), 1-5. G

- [1989i]. Mémoires des sciences. Changements d'objets, *in* Zavialoff, Nicolas; Jaffard, Robert et Brenot, Philippe (dirs.), *La mémoire*, tome 2: *Le concept de mémoire*, L'Harmattan, Paris, 1989, p. 7-14.

- (Repris dans :) [1990a], chap. 2, p. 29-38. R

- [1989j]. Physique, philosophie et vulgarisation aujourd'hui, *Bulletin d'information de l'Association des écrivains scientifiques de France*, n° 38, octobre 1989, 77-83. G

- (Repris dans :) [1990a], chap. 15, p. 204-210.

- (Trad. en portugais :) [1990i].

- [1989k]. Parcours à travers la science, sa philosophie, son histoire, d'Europe à la terre de Brésil, 1965-1987, *in* Cardoso, Luiz Claudio et Martinière, Guy (coord.), *France-Brésil, vingt ans de coopération (science et technologie)*, IHEAL (Institut des Hautes Etudes de l'Amérique Latine), Paris / Presses Universitaires de Grenoble, 1989, p. 63-67. G

- (Repris dans :) [1990a], Postface, p. 211-216.

- [1989l]. Science, culture, éthique et démocratie, *La Lettre des cercles Condorcet*, n°5, janvier-février 1989, 7-8. G

- [1989m]. *Science, culture, éthique et démocratie. Rapport de la Commission du Cercle Condorcet de Paris, présenté au Cercle le 7 novembre 1988* (en collab.), Collection Les débats du Cercle Condorcet, Paris, 1989 (Travail collectif: p. 13-18, et, en propre : Présentation du rapport, p. 7-12, et interventions, p. 55, 58-59, 67-68). G

- (Traduction en espagnol (Colombie) :) Ciencia, cultura, etica y democracia : voir [1992i].

- [1989n]. [Compte-rendu de lecture.] « Joëlle Proust: *Questions de forme. Logique et proposition analytique de Kant à Carnap* », *Archives de philosophie* 52, 1989 (n° 1, janvier-mars), 103-107. Cr

- [1989o]. Remarques en forme d'aphorismes sur l'exigence philosophique, *Raison présente*, n° 89, 1er trimestre 1989 : « *Questions à la philosophie* », 65-66. G

- [1989p]. *En l'honneur de Ludovico Geymonat* (édition, avec Jean Petitot du numéro spécial), *Fundamenta Scientiae* 10, 1989, n°1.

- [1990a]. *L'analyse critique des sciences, ou le tétraèdre épistémologique (sciences, philosophie, épistémologie, histoire des sciences)*, L'Harmattan, Paris, 1990, 222p. R

- [1990b]. *Les particules et l'univers. La rencontre de la physique des particules, de l'astrophysique et de la cosmologie* (éd. en collab avec Jean Audouze et Paul Musset), Presses Universitaires de France, Paris, 1990, 396 p. RD

- [1990c]. Remarques épistémologiques sur l'objet commun de la physique des particules et de la cosmologie, *in* Audouze, Jean ; Musset, Paul et Paty, Michel (dir.), *Les particules et l'univers.*, Presses Universitaires de France, Paris, 1990, p.

47-75. R

- [1990d]. Grande unification, neutrinos, monopoles (en collab avec Paul Musset), *in* Audouze, Jean ; Musset, Paul et Paty, Michel (dir.), *Les particules et l'univers*, Presses Universitaires de France, Paris, 1990, p. 251-277. RD

- [1990e]. Dictionnaire élémentaire des notions, *in* Audouze, Jean ; Musset, Paul et Paty, Michel (dir.), *Les particules et l'univers*, Presses Universitaires de France, Paris, 1990, p. 335-389. D

- [1990f]. Reality and Probability in Mario Bunge's *Treatise*, *in* Dorn, Georg and Weingartner, Paul (eds.), *Studies on Mario Bunge's Treatise*, Poznan studies in the philosophy of the sciences and humanities, Rodopi, Amsterdam-Atlanta, 1990, p. 301-322. R

- [1990g]. Ciência, filosofia e sociedade, da *Encyclopédie* até à Revolução francesa: de d'Alembert a Condorcet, *in* Coggiola, Osvaldo (org.), *A Revolução francesa e seu impacto na America Latina. (Atas do Simposio internacional, São Paulo, 29 de maio-1° de junho de 1989)*, Nova Stella/ CNPq/EDUSP, São Paulo,1990, p. 95-106. R

- [1990h]. A dimensão filosofica do trabalho científico (Tradução do francês por Fernanda Peixoto Massi), *Novos Estudos* (CEBRAP, Sao Paulo), n° 28, outubro 1990, 127-136. (Original en français : [1992b]) R

- [1990i]. Problemas da comunicação da ciência, *in* Lopes, João Aloisio, e Leopoldo e Silva, Franklin (org.), *Filosofia da comunicação*, Universidade de São Paulo, 1990, p. 94-109. G

- [1990j]. Fisica, filosofia e vulgarisação hoje, *in* Lopes, João Aloisio, e Leopoldo e Silva, Franklin (org.), *Filosofia da comunicação*, Universidade de São Paulo, 1990, p. 248-257. (Trad. en portugais de [1989j]. G

- [1990k]. Jean le Rond d'Alembert (1717-1743): *Traité de dynamique*, 1743, *in* de Basilly, France (coord.), *En français dans le texte. Dix siècles de lumières par le livre*, Bibliothèque nationale, Paris, 1990, p. 167. D

1991-1995

- [1991a]. *L'étrange histoire des quanta* (en collab. avec Hoffmann, Banesh), réimpression avec une addition, Seuil, 1991, Paris, 282 p. [éd. révisée du livre paru en 1981 (1981i), augmenté d'un « Addendum à l'avertissement ».] D

- [1991b]. Exemple d'influence scientifique et culturelle : les voies spécifiques de la physique mathématique. Exemplo de influência científica et cultural: as vias específicas da física matemática, *in* Parvaux, Solange et Revel-Mouroz, Jean (dirs.), *Images réciproques du Brésil et de la France. Imagens reciprocas do Brasil e da França.Actes du Colloque organisé dans le cadre du projet France-Brésil. Atas do Colóquio organizado no quadro do projeto França-Brasil (Paris, 3-5.12.1987*), IHEAL (Institut des Hautes Etudes de l'Amérique Latine), Paris, 1991, vol. 2, p. 811-826. R

- [1991c]. Banesh Hoffmann (constitué de « Avertissement » de l'édition 1981 et de « Addendum à l'Avertissement »), in Banesh Hoffmann et Michel Paty,

L'étrange histoire des quanta, Seuil, Paris, 1991, p. 1-9.

- [1992a]. Les débuts de la physique mathématique et théorique au Brésil et l'influence de la tradition française, *in* Petitjean, Patrick; Jami, Catherine and Moulin, Anne-Marie (eds.), *Science and Empire, historical studies about scientific development and european expansion*, Kluwer, Dordrecht, 1992, p. 173-191. R

- [1992b]. La dimension philosophique du travail scientifique (découverte et interprétation), *Philosophique* (Université de Besançon) 1992, n°1, 45-67. R

- [1992c]. L'endoréférence d'une science formalisée de la nature, *in* Dilworth, Craig (ed.), *Intelligibility in science*, Rodopi, Amsterdam, 1992, p. 73-110. R

- (Trad. en portugais :) voir [1992d].

- [1992d]. A endoreferência de uma ciência formalizada da natureza, trad. en portugais (Brésil) par Belkiss Jasinevicius Rabello, *Estudos Avançados* (IEA, São Paulo) 6, n°14 (janeiro-abril), 1992, 107-141 ; errata, 7, 1993, n°17 (janeiro-abril), 223-224. (Trad. de [1992c]). R

- [1992e]. Physical Geometry and Special Relativity: Einstein and Poincaré *in* Boi, Luciano; Flament, Dominique et Salanski, Jean-Michel (eds.), *1830-1930 : A century of geometry. Epistemology, history and mathematics*, Springer-Verlag, Berlin, 1992, p. 126-149. R

- [1992f]. L'histoire des sciences en Amérique latine, *La Pensée,* n° 288-289, 1992, 21-45. R

- [1992g]. La question du statut de l'expérience en physique, *Cahiers d'Histoire et de philosophie des sciences*, n° 40, 1992, 183-197. (Actes du Colloque *Les Procédures de preuve, de validation et d'évaluation dans les sciences et les techniques : une approche historique*, Lille, 11-13 avril 1991.) R

- [1992h]. Franck, Reichenbach, Schlick : notices sur les oeuvres, *in* Jacob, André (dir.), *Encyclopédie philosophique universelle*, volume 3, Mattéi, Jean-François (dir.), *Les oeuvres philosophiques,* Presses Universitaires de France, Paris, tome 2, 1992, p. 2410-2411, 2777-2779, 2819-2820. DE

- [1992i] Ciencia, cultura, etica y democracia. Informe de la comisión del Circulo Condorcet de Paris (en collab.), *Fin de siglo* (Universidad del Valle, Cali, Colombia), n° 3, mayo-junho 1992, numero especial : *Filosofia de la ciencia; crisis de una concepción eurocentrista*, p. 69-83. (Trad. en espagnol, Colombie, de [1989m]). G

- [1993a]. *Einstein philosophe. La physique comme pratique philosophique*, Presses Universitaires de France, Paris, 1993, 584 p. R

- [1993b]. A propos de la cosmologie contemporaine, *La Pensée*, n° 291, janv.-fév. 1993, 5-13. RE

- [1993c] Sur les variables cachées de la mécanique quantique : Albert Einstein, David Bohm et Louis de Broglie, *La Pensée*, n°292, mars-avril 1993, 93-116. R

- [1993d]. Formalisme et interprétation physique chez Schrödinger, *in* Bitbol, Michel et Darrigol, Olivier (eds.), *Erwin Schrödinger. Philosophy and the birth of*

quantum mechanics. Philosophie et naissance de la mécanique quantique, Editions Frontières, Paris, 1993, p. 161-190. R

- [1993e]. Einstein, Albert (1879-1955), *Encyclopaedia Universalis*, nlle éd., Paris, vol. 8, 1993, p. 37-40. DE

- [1993f]. Einstein, cientista e filósofo ?, trad. en portugais (Brésil) par Olival Freire Jr., *Estudos avançados* 7, n° 19, set.-dez.1993, 91-132. (Trad. du chapitre 1 de [1993a].) R

- [1993g]. Prédicat d'existence et prédictivité d'un objet théorique en physique, in *The status of existence of 'hidden' physical entities (atoms, elementary particles, etc.)*, Colloque de l'Institut de la méthode. Association F. Gonseth, Biel-Bienne, 11-12 juin 1993. Texts for discussion (version préliminaire), p. 82-112. R

- (Trad. en anglais d'une version modifiée :) voir [1997b].

- [1993h]. D'Alembert, Jean Le Rond, 1717-1783, *in* Huisman, Denis (ed.), *Dictionnaire des philosophes*, deuxième éd. rev. et augm., Presses Universitaires de France, Paris, 1993, vol. 1, p.59-61. DE

- [1993i]. Einstein, Albert, 1879-1955, *in* Huisman, Denis (ed.), *Dictionnaire des philosophes*, deuxième éd. rev. et augm., Presses Universitaires de France, Paris, 1994, vol. 1, p.908-915. DE

- [1993j]. Geymonat, Ludovico, 1908-1991 *in* Huisman, Denis (éd.), *Dictionnaire des philosophes*, deuxième éd. rev. et augm., Presses Universitaires de France, Paris, 1993, vol. 1, p.1121-1123. DE

- [1993k]. Herschel, John, 1792-1871 *in* Huisman, Denis (éd.), *Dictionnaire des philosophes*, deuxième éd. rev. et augm., Presses Universitaires de France, Paris, 1993, vol. 1, p.1333-1335. DE

- [1993l]. Herschel, William, 1738-1832, *in* Huisman, Denis (éd.), *Dictionnaire des philosophes*, deuxième éd. rev. et augm., Presses Universitaires de France, Paris, 1993, vol. 1, p.1335-1336. DE

- [1993m]. Laplace, Pierre Simon, 1749-1827, *in* Huisman, Denis (éd.), *Dictionnaire des philosophes*, deuxième éd. rev. et augm., Presses Universitaires de France, Paris, 1993, vol. 2, p.1677-1679. DE

- [1993n]. [c.-r. de lecture] 'Abraham Pais, *Albert Einstein, la vie et l'oeuvre*', *La Recherche* 24, 1993 (*n° 257*, septembre), 1000.

- [1994a]. Mesure, expérience et objet théorique en physique, *in* Beaune, Jean-Claude (dir.), *La mesure, instruments et philosophies*, Champ Vallon, Seyssel (01), 1994, p. 159-174. R

- [1994b]. Le caractère historique de l'adéquation des mathématiques à la physique, *in* Garma, Santiago; Flament, Dominique; Navarro, Victor (eds.), *Contra los titanes de la rutina.- Contre les titans de la routine [Encuentro en Madrid de investigadores hispano-franceses sobre la historia y la filosofia de la matematica Rencontre à Madrid de chercheurs hispano-français sur l'histoire et la philosophie de la mathématique,18-22.11.1991]*, Comunidad de Madrid/C.S.I.C., Madrid, 1994, p. 401-428. R

- [1994c]. David Bohm, sua estadia no Brasil e a teoria quântica (en collab. avec Olival Freire Jr. et Alberto Luiz da Rocha Barros), *Estudos Avançados* (IEA, São Paulo), 8, n° 20, 1994, 53-82. R

- [1994d]. Actualité de la pensée d'Einstein, *Universalia 1994*, Encyclopœdia Universalis, Paris, 1994, p. 392-393.

- [1994e]. En guise de préface. Quelques remarques sur la question des origines, *in* Maurel, Marie-Christine, *Les origines de la vie*, Syros, Paris, 1994, p. 11-32. RG

- [1994f]. Sur l'histoire du problème du temps: le temps physique et les phénomènes, *in* Klein, Etienne et Spiro, Michel (éds.), *Le temps et sa flèche*, Editions Frontières, Gif-sur-Yvette, 1994, p. 21-58 ; 2è éd., 1995. R

- (ré-éd. :) *ibid*, Collection Champs, Flammarion, Paris, 1996, p. 21-58. R

- [1994g]. Science, création et oeuvre d'art (pour le catalogue de l'exposition de Maria Kokkinou, *Les Physiciens*, Athènes, 1994), *in* Μαρια Κοκκινου (Maria Kokkinou), *Οι Φνσιχοι* (*Les physiciens*), Νοεμβριοζ 1994, Γκαλερι Astra (Galerie Astra), Athènes, 1994, p. 3-6 (texte original et traduction en grec). L

- [1994h]. Question à W.W. Quine, *in* « Une journée avec Quine », *Grammaire, sujet et signification, Cahiers de philosophie ancienne et du langage de l'Université Paris XII-Val-de-Marne*, Série Philosophie et langage (L'Harmattan, Paris), n°1, 1994, p. 31-32. G

- [1994i]. Science : des idées et des hommes. Propos recueillis par Benoît Garrigues, *Les dossiers ICST* (Information et communication scientifique et technique, Université Paris 7-Denis Diderot), n° 4, 1994: « *A la recherche des Lumières dans les laboratoires de Paris 7* », p. 94-97. G

- [1994j]. [C-r de lecture] « J. Leite Lopes et B. Escoubès, *Sources et évolution de la physique quantique. Textes fondateurs* », *Lettre des Départements scientifiques du CNRS. Physique nucléaire et corpusculaire, IN2P3*, n°19, Oct.-nov.-déc.1994, 26-27. Cr

- [1994k]. [C-r de lecture.] « Sandro Pietruccioli, *Atoms, metaphors and paradoxes. Niels Bohr and the construction of a new physics* », *La Recherche*, 25, 1994 (n° 270, novembre), 1182.

- [1994l]. [C-r. de lecture] « Hans-Peter Dürr, *De la science à l'éthique. Physique moderne et responsabilité scientifique* », *La Recherche*, 25, 1994 (n°271, décembre), 1295.

- [1995a]. *A materia roubada. A apropriação crítica do objeto da física contemporânea*, trad. em português por Mary Amazonas Leite de Barros, EDUSP, São Paulo, 1995, 324p. (Trad. de [1988a]). R

- [1995b]. The nature of Einstein's objections to the Copenhagen interpretation of quantum mechanics, *Foundations of physics* 25, 1995, n°1 (january), 183-204. R

- [1995c]. Construção matematica e realidade do espaço-tempo da teoria da relatividade, Trad. en portugais (Brésil) par Silvio Chibeni, *in* Évora, Fátima (ed.), *Espaço e tempo*, Coleção CLE, Unicamp, Campinas, 1995, p.13-40. R

- (Original en français :) L'espace-temps de la théorie de la relativité : [2001j].

- [1995d]. Notes sur les modèles et la modélisation, *Journée de l'Association française d'informatique théorique (AFIT), 19 mars 1994, Paris*, n° spécial de la *Lettre de l'AFIT*, 1995, 25-34 (et débat, 43-45). Egalement, *EATCS Bulletin (European Association of Theoretical Computing Science)*, July 1995. R

- [1995e]. Les neutrinos, *Encyclopædia Universalis*, vol.12, 1995, p. 294-300. (Révisé pour la nouvelle édition. Cf. [1985c]). DE

- [1995f]. Newton, Isaac (1642-1727), *Encyclopædia Universalis*, vol. 12, 1995, p. 315-317.

- (Repris dans :) Encyclopædia Universalis, *Dictionnaire des Philosophes*, Encyclopædia Universalis/ Albin Michel, Paris, 1998, p. 1111-1118. - (Repris dans :) Encyclopædia Universalis, *Dictionnaire de l'Astronomie*, Encyclopædia Universalis/ Albin Michel, Paris, 1999, p. 642-650. DE

- [1995g]. Einstein, un homme dans l'univers et dans son temps, Dossier organisé par M.P., *Passages*, janvier 1995, 12-33 (Introduction, p. 12-13, Bibliographie et notes, p. 33 ; La physique d'Einstein, 18-20 ; L'attitude philosophique d'un chercheur scientifique, 22-25). DE

- [1995j]. Η φιλοσοφικη σταση εσοζ επιστημονικου ερευνητη (trad. en grec par Eftichios Bitsakis), *Ουτοπια* (*Utopia*, Athènes), n° 16, mai-juin 1995, 101–107. [Original en français : L'attitude philosophique d'un chercheur scientifique (Einstein), *in* [1995g]. RE

- [1995k]. L'impossible retour du temps, *Pour la Science*, n° 208, février 1995, 10-12. D

- [1995l]. Homo scientificus, *Science et Avenir*, n° 101-hors-série « *Parasciences: le vrai, le faux et l'idiot* », juin-juillet 1995, 62-67. D

- [1995m]. Aventura e coragem na ciência, *Jornal de Resenhas*, *A Folha de São Paulo/Discurso Editorial/USP,* n°6, 4.9.1995, 8. [Sur l'ouvrage d'Abraham Pais, *« Sútil é o Senhor… »*, *A ciência e a vida de Albert Einstein*, Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1995]. Cr

- (Republié dans :) Nascimento, Milton Meira do (ed.), *Jornal de Resenhas, Seis anos, de abril de 1995 a abril de 2001*, Discurso Editorial, São Paulo (Br.), 2002, 2 vols. ; vol.1, p. 173-174.

- [1995n]. « Le libre-arbitre me tient très à cœur » : Sir Karl Popper interviewé par Michel Paty, *in* Awad, Elias (éd.), *Le grand journal des sciences 1995*, Plon, Paris, 1995, p. 176. (Interview posthume imaginaire basée sur des textes de K.P.) G

- [1995o]. Préface à Semyon Grigorevich Gindikin, *Horloges, pendules et mécanique céleste. Mathématiciens et physiciens de la Renaissance à nos jours* (ouvrage traduit du Russe par Jean-Michel Kantor), Diderot éditions, Paris, 1995, p. 7-17.

- (Reprise : Texte revu, corrigé et légèrement modifié par rapport à la

première édition) : cf. [2000m]). G

- [1995p]. A dança barroca dos signos das formas. A propósito das esculturas de Alfi Gristelli.- La danse baroque des signes des formes. Sur les sculptures d'Alfi Gristelli, Catálogo da exposição de Alfredo Miguel Gristelli, *Nordeste, cor e movimento, esculturas*, 16-29 nov. 1995, Galeria J. Inácio, Aracaju (Se, Brésil), p.4. L

1996

- [1996a]. A *ciência nas relações Brasil-França (1850-1950)* (éd. en collab. avec Amelia Imperio Hamburger, Maria Amelia Dantes et Patrick Petitjean), Coleção « Seminários », EDUSP, São Paulo, 1996, 366 p. R

- [1996b]. *Le droit à l'énergie. Penser le XXIe siècle* (éd. en collab. avec Emile Malet), Editions Passages, Paris, 1996, 224 p. G

- [1996c]. A recepção da Relatividade no Brasil e a influença das tradições científicas europeias, trad. en Portugais (Brésil) par Ana Maria Alves, *in* Hamburger, Amelia Imperio; Dantes, Maria Amelia; Paty, Michel et Petitjean, Patrick (eds.), A *ciência nas relações Brasil-França.(1850-1950)*, Coleção « Seminários », EDUSP, São Paulo, 1996, p. 143-181. R

- (Texte original en français :) La réception de la Relativité au Brésil et l'influence des traditions scientifiques européennes : [1999l]. R

- [1996d]. Poincaré et le principe de relativité, *in* Greffe, Jean-Louis; Heinzmann, Gerhard et Lorenz, Kuno (éds.), *Henri Poincaré. Science et philosophie. Science and philosophy. Wissenschaft und Philosophie. Congrès international, Nancy, France, 14-18 mai 1994*, Akademie Verlag, Berlin/Albert Blanchard, Paris, 1996, p. 101-143. R

- [1996e]. Le style d'Einstein, la nature du travail scientifique et le problème de la découverte, *Revue philosophique de Louvain*, 94, 1996 (n°3, août), 447-470. R

- [1996f]. Sobre o estudo comparativo da história da difusão e da integração das ciências, trad. do original francês por Cintia Fragoso, in Alfonso-Goldfarb, Ana Maria e Maia, Carlos A. (orgs.), *História da ciência: o mapa do conhecimento (America 500 anos)*, Coleção *América 92: Raízes e trajetorias*, vol. 2, Expressão e Cultura, Rio de Janeiro / EDUSP, São Paulo, 1995-1996, p. 837-880. R

- (Original en français :) Sur l'étude comparative de l'histoire de la diffusion et de l'intégration des sciences, inédit. - (Version modif., augm., mise à jour : voir : [2001f])

- [1996g]. Vingt cinq années d'évolution de la physique nucléaire et des particules (en collab. avec René Bimbot), *in* Yoccoz, Jean (éd.), *Physique subatomique: 25 ans de recherche à l'IN2P3, la science, les structures, les hommes*, Editions Frontières, Gif-sur-Yvette, 1996, p. 12-99. R

- [1996h]. Remarques sur la production sociale des sciences et la question de la vérité, *in* Malet, Emile et Le Bras, Hervé (éds.), *Science et démocratie. Penser le XXIè siècle*, Editions Passages, Paris, 1996, p. 185-219. QG, D

- [1996i]. Le droit à l'énergie. Remarques d'introduction, *in* Malet, Emile et Paty, Michel (éds.), *Le droit à l'énergie. Penser le XXIè siècle*, Editions Passages, Paris, 1996, p. 11-27. QG

- [1996j]. Galilée et la mathématisation du mouvement, *Passages*, n°76, avril-mai 1996, 49-53. ED

- [1996k]. Thinking mathematically, thinking physically. About Poincaré's and Einstein's respective ways to a relativistic theory of gravitation. Some Remarks, Contribution to the *Workshop on Geometry and Physics, 1900-1930* (Open University, Milton Keynes, U.K., 14-19th of march 1996), *British Society for the History of Mathematics Newsletter*, n°31, spring 1996, 38-39. R

1997

- [1997a]. *Albert Einstein, ou la création scientifique du monde*, Collection « Figures du savoir », Belles Lettres, Paris, 1997, 156 p. D

- [1997b]. Predicate of existence and predictivity for a theoretical object in physics, *in* Agazzi, Evandro (ed.), *Realism and quantum physics*, Rodopi, Amsterdam, 1997, p. 97-130. (Trad. en anglais, par M.P., avec modific., de [1993g]). R

- [1997c]. L'idée d'universalité de la science et sa critique philosophique et historique, *in* Arboleda, Luis Carlos y Osorio, Carlos (éds.), *Nacionalismo e internacionalismo en la historia de las ciencias y la tecnología en America latina, Memorias del IV Congresso Latino-Americano de Historia de las Ciencias y la Tecnología,* Universidad del Valle, Cali (Colombia), 1997, p. 57-89.

  - (Egalement :) L'idée d'universalité de la science et sa critique philosophique et historique, *Asclepio* (Madrid), 49 (2), 1997, 5-43. R

  - (Trad. en portugais :) [1997d].

- [1997d]. A ideia de universalidade da ciência e sua crítica filosófica e histórica, Trad. en português por Pablo Ruben Mariconda, *Discurso* (USP, São Paulo), n°28, 1997, 7-60. [Original en français : 1997c]. R

- [1997e]. « Mathesis universalis » e inteligibilidad en Descartes, Trad. en español por Martha Cecilia Bustamente, *in* Albis, Victor R. ; Charum, Jorge ; Sanchez, Clara Helena ; Serrano, Gonzalo (eds.), *Memorias del Seminario en conmemoración de los 400 años del nacimiento de René Descartes*, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Coleccion Memorias (Bogotá), n°9, 1997, p. 135-170. R

  - (Original en fr. :) [à paraître,j]. – (Trad. en portugais :) [1998c].

- [1997f]. L'universalité de la science : une notion philosophique à l'épreuve de l'histoire, *Galileo* (Montevideo), 2a Ep., n°15, mayo de 1997, 37-56. (Différent de [1997c]. R

  - (Voir aussi :) [1999c]. - Trad. angl. : [1999d].

- [1997g]. Poincaré, Henri (1854-1912) (en collab. avec Christian Houzel), *Encyclopædia Universalis* (Version CD-Rom), 1997. Repris dans Encyclopædia

Universalis, *Dictionnaire de l'Astronomie*, Encyclopædia Universalis/ Albin Michel, Paris, 1999, p. 696-706. D, ER

- [1997h]. Histoire rapide de la vitesse (le concept physique), *in La vitesse. Actes des 8ès Entretiens de la Villette*, Centre National de Documentation Pédagogique, Paris, 1997, p. 15-31. R

- [1997i]. Problèmes d'éthique et de science, *Raison Présente*, 1997, troisième trimestre, juillet-août-septembre, 101-113.R

- [1997j]. Les discours sur les races et la science, *Passages*, n°83, mai-juin 1997, 22-29. R

- (Trad. en portugais :) [1998f].

- [1997k]. Calcul vectoriel, *in* Ambrière, Madeleine (dir.), *Dictionnaire du XIXe siècle européen*, Presses Universitaires de France, Paris, 1997, p. 198-199. DR

- [1997l]. Hertz, Heinrich Rudolf, 1857-1894, *in* Ambrière, Madeleine (dir.), *Dictionnaire du XIXe siècle européen*, Presses Universitaires de France, Paris, 1997, p. 534-535. DR

- [1997m]. Lois de conservation, *in* Ambrière, Madeleine (dir.), *Dictionnaire du XIXe siècle européen*, Presses Universitaires de France, Paris, 1997, p. 693-694. DR

- [1997n]. Mach, Ernst, 1838-1916, *in* Ambrière, Madeleine (dir.), *Dictionnaire du XIXe siècle européen*, Presses Universitaires de France, Paris, 1997, p. 702-703.DR

- [1997o]. Science et colonialisme, *in* Ambrière, Madeleine (dir.), *Dictionnaire du XIXe siècle européen*, Presses Universitaires de France, Paris, 1997, p. 1087-1088. DR

- [1997p]. Poincaré, la relativité, l'électron et la gravitation, *in Lycée Henri-Poincaré*, Nancy, 1997, p. 20-21.

- [1997q]. Einstein, um fenômeno planetário (« Abraham Pais : *Einstein viveu aqui* »), *Jornal de Resenhas*, *Folha de São Paulo/Discurso Editorial*, n°, outubro 1997, 7. Cr

- (Re-publié dans :) Nascimento, Milton Meira do (ed.), *Jornal de Resenhas, Seis anos, de abril de 1995 a aril de 2001*, Discurso Editorial, São Paulo (Br.), 2002, 2 vols. : vol.1, p. 914-915. Cr

- [1997r]. A filosofia da tolerância (O conceito de quase verdade de Newton da Costa), *Folha de São Paulo* (Br), 30 de novembro de 1997, Caderno Mais n°5, 7. G

- [1997s]. La Bible entre Dieu et l'artiste, *Passages*, n°86, octobre-novembre 1997, 15-17. (Sur les illustrations du *Pentateuque* par le graveur André Goezu). L

- [1997t]. Chronique de Raymond la Science. 1. L'imagination sans limite, *Passages*, n°84, juin-juillet 1997, 27; 2. Sous le béton… le sable, *Passages*, n°85, août 1997, 59 ; 3. La vie sur Mars, *Passages*, n°86, octobre-novembre 1997, 8-9 ; 4. Dans les vents virtuels, *Passages*, n°87, décembre 1997-janvier 1998, 9-10. G

- [1997u]. Interventions sur « *La science : menace ou menacée ?* », Rencontres Léonard de Vinci, Editions de l'Epure, Paris, 1997, p.14-22, 39-41, 41-43, 49-51, 52, 53. GD

- [1997v]. La science a une dimension de pensée, et la liberté du scientifique c'est aussi la liberté de penser, *in* Discussions, *Science pouvoir et démocratie. Pour une science responsable. Colloque en hommage à Martine Barrère*, in *Archimède et Léonard* (AITEC, Paris), n° hors-série, Hiver 1997-1998, Paris, 1997, p. 37-38. G

1998

- [1998a]. *D'Alembert ou la raison physico-mathématique au siècle des Lumières*, Collection « Figures du savoir », Les Belles Lettres, Paris, 1998, 207 p.

- [1998b]. La philosophie et la physique, *in* Jean-François Mattéi (éd.), *Le Discours philosophique*, volume 4 de l'*Encyclopédie philosophique universelle*, Presses Universitaires de France, Paris, 1998, chap. 123, p. 2104-2122.

- [1998c]. « Mathesis universalis » e inteligibilidade em Descartes, Trad. em português por Maria Aparecida Corrêa-Paty, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* (Campinas), Série 3, vol. 8, 1998 (n°1, jan.-jun.), 9-57.

  - (Egalement, dans :) *Seminário sobre O Cartesianismo,* Centro de Estudos de História e Filosofia da Ciência, Centros de Investigação da Universidade de Évora, Evora, Portugal, 2000, p. 145-200. - (Original en français :) [à paraître,j]. - (Trad. en espagnol :) [1997e].

- [1998d]. Le vide matériel, ou : La matière crée l'espace, *in* Diner, Simon & Gunzig, Edgard (éds.), *Le Vide. Univers du tout et du rien*, Editions de l'Université de Bruxelles, Bruxelles, 1998, p. 22-44. R

- [1998e]. Les trois dimensions de l'espace et les quatre dimensions de l'espace-temps, *in* Flament, Dominique (éd.), *Dimension, dimensions I*, Série « Documents de travail », Fondation Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 1998, p. 87-112.

- [1998f]. Os discursos sobre o racismo e a ciência, trad. en portug. (Brésil) par Pablo R. Mariconda, *Estudos Avançados* (São Paulo) 12, n°33 (maio-agosto), 1998, 157-170. (Original en français :) [1997j].

- [1998g]. Física e conhecimento humano. Entrevista com Michel Paty, por Cristiano Capovilla, *Princípios* (São Paulo), n°49, maio-junho-julho 1998, 74-77.

- [1998l]. Chronique de Raymond la Science. 5. Les bienfaits du tabac… transgénique, *Passages*, n°88, février-mars 1998, 13-17.- 6. Le retour du docteur Cornelius et son clone, *Passages*, n°89, avril-mai 1998, 64-65 ; n°90, juin-juillet 1998, 63-65.- 7. Le vaisseau Terre et la planète errante, *Passages*, n°91, été 1998, 64-65. G

- [1998m]. The signification of the Bohr-Eintein debate, an interview by Nikolina Sretenova (en trad. en Bulgare), in Sretenova, Nikolina, *Postmodern Science and Its critics. On the Einstein-Bohr debate and the Sokal Affair (Conversations with B. Hiley, B. d'Espagnat, J.-P. Vigier, G. Lochak and M. Paty)*, Heron Press, Sofia, 1998 (en Bulgare), p. 167-175.

- [1998n]. On Jules Henri Poincaré, *in* Melvyn Bragg and Ruth Gardiner, *On Giants' shoulders. Great scientists and their discoveries from Archimedes to DNA*, Hodder and Stoughton, 1998, p. 203-204, 209-210. (transcription d'extrait d'une entrevue pour la BBC).

- [1998o]. A propos de la relativité générale d'Einstein, *in* Hélène Guillemot, Einstein accusé de plagiat, *Science et vie*, n°968, mai 1998, 122-127 : citations p. 125, 127.

- [1998p]. Contribution aux réflexions pour alimenter l'initiative de la Conférence des Présidents de Sections du Comité National du CNRS, document préparé avec les chercheurs de l'Equipe REHSEIS, 28 novembre 1998, 3p. (Reproduit dans: [200t], p. 242-244.

1999

- [1999a]. *Aux frontières de la science* (édité en collab. avec Emile Malet), Editions Passages, Paris, 1999, 222 p. G

- [1999b]. La place des principes dans la physique mathématique au sens de Poincaré, *in* Sebestik, Jan et Soulez, Antonia (éds.), *Actes du Colloque France-Autriche Paris, mai 1995*, *Interférences et transformations dans la philosophie française et autrichienne (Mach, Poincaré, Duhem, Boltzmann), Fundamenta philosophiæ* (Nancy/éd. Kimé, Paris) 3 (2), 1998-1999, 61-74. R

- [1999c]. L'universalité de la science. Une idée philosophique à l'épreuve de l'histoire, *Mâat. Revue Africaine de Philosophie*, 1ère année, n° 1, avril 1999, 1-26. (A peu près identique à 1997 f). R

- [1999d]. Universality of Science : Historical Validation of a Philosophical Idea, as Chapter 12, *in* Habib, S. Irfan and Raina, Dhruv (eds.), *Situating the history of science : Dialogues with Joseph Needham*, Oxford University Press (New Delhi), 1999, p. 303-324. (Trad. en anglais, par M.P. Original en français : [1997f, 1999c]). R

- [1999e]. Comparative history of modern science and the context of dependency, *Science, Technology and Society. An International Journal Devoted to the Developping World* (New Delhi, Sage Publications), vol. 4, 2 (july-dec.) 1999, 171-204. Translation from French by Nicholas Flay, verified by the author. R

  - (Original en français :) L'histoire comparative des sciences modernes et le contexte de dépendance : [2001f].

- [1999f]. Paul Langevin (1872-1946), la relativité et les quanta, *Bulletin de la Société Française de Physique*, n° 119, mai 1999, 15-20. DR

- [1999g]. Are quantum systems physical objects with physical properties ?, *European Journal of Physics* 20, 1999 (november), 373-388. (Special issue on « Unsolved problems of physics ».) R

- [1999h]. Les trois stades du principe de relativité, *Revue des questions scientifiques*, 170 (n°2), 1999 (*Les relativités. Première partie*), 103-150. R

  - (Republié dans :) *Les Relativités*, numéro spécial de la *Revue des questions*

scientifiques, 2000, 103-150.

- [1999i]. La création scientifique selon Poincaré et Einstein, *in* Serfati, Michel (éd.), *La recherche de la vérité*, Coll. « L'Ecriture des Mathématiques », ACL-Editions du Kangourou, Paris, 1999, p. 241-280. R

- (Trad. en portugais :) [2001c].

- [1999j]. Opérations épistémiques et épistémologie formelle. Contribution à l'étude des opérations épistémiques dans les théories scientifiques, *Principia* (Florianopolis, Br.), 3, 1999 (n°2, dezembro), 257-306. R

- (Trad. en anglais :) [2002o].

- [1999k]. Ciência, aquêle obscuro objeto de pensamento e do uso, trad. em português (Brasil) por Olival Freire, rev. téc. por Sylvia Gemignani Garcia, *Tempo Social* (USP, São Paulo), 11, n°1-maio, 1999, 67-73.

- (Egalement :) *Principios* (São Paulo), 1999, n°52, fev.-março-abril 1999, 70-75. - (Repris dans :) Silva Filho, Waldomiro (org.), *Epistemologia e ensino das ciências*, Arcádia, Salvador (Ba, Brasil), 2002, p. 145-154.

- (Original en anglais :) Science, that obscure object of thought and use, Contribution to the *Forum Has Science Failed Society ?, National Science Week*, *Dublin Institute of Technology*, Dublin, 5 novembre 1998), manuscrit non publié. - (Version en français par l'auteur :) [2000e].

- [1999l]. La réception de la Relativité au Brésil et l'influence des traditions scientifiques européennes, *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* 49, 2000, n° 143, 331-368.

- (Trad. en portugais :) [1996c].

- [1999m]. Espace (La critique de Mach), *in* Lecourt, Dominique (éd.), *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences*, Presses Unversitaires de France, Paris, 1999, p. 374-376.

- [1999n]. Masse (de Newton à Einstein), *in* Lecourt, Dominique (éd.), *Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences*, Presses Unversitaires de France, Paris, 1999, p. 613-616.

- [1999o]. Prefácio a Olival Freire Jr, *David Bohm e a controversia dos quânta*, Coleção CLE, Campinas, 1999, p. xiii-xvii.

- [1999p]. Les vérités scientifiques et le sens commun, *in* Paty, Michel & Malet, Emile (éds.), *Aux frontières de la science*, Editions Passages, Paris, 1999, p. 105-116.

- [1999q]. Introduction. Science, société, politique et culture, *in* Paty, Michel & Malet, Emile (éds.), *Aux frontières de la science* (édité en collab. avec Emile Malet), Editions Passages, Paris, 1999, p. 17-22. DG

- [1999s]. Mémoire de Bruno Escoubès. L'engagement dans la recherche, *in* : *A Bruno Escoubès. Hommages et témoignages*, CNRS, Strasbourg, 29 septembre 1999, p. II 1-10. G

- [1999t]. Surgis des entrailles du plan : mouvement, matière. Sur des œuvres

récentes de Michelle de Launay, *Passages*, n°98, sept.-oct. 1999, 63. L

- [1999u]. A física social. Obra examina gênese e evolução do projeto positivista do flosófo Augusto Comte (« Lelita Oliveira Benoit, *Sociologia comteana, genese e devir* »), *Jornal de resenhas/ Folha de São Paulo*, n°55, 9 de outubro de 1999, 3. Cr

  - Re-publié dans : Nascimento, Milton Meira do (ed.), *Jornal de Resenhas, Seis anos, de abril de 1995 a abril de 2001*, Discurso Editorial, São Paulo (Br.), 2002, 2 vols. : vol.2, p. 1569-1570.

- [1999v]. L'euthanasie du fœtus. A propos de « *L'euthanasie du fœtus. Médecine ou eugénismes ?* de Jacques Milliez », *Passages*, n°99, novembre 1999, p. 57. Cr

2000

- [2000a]. Einstein et la pensée de la matière, *in* Monnoyeur, Françoise (éd.), *La matière des physiciens et des chimistes*, Le Livre de poche, Hachette, Paris, 2000, p. 213-252. R

- [2000b]. Interprétations et significations en physique quantique, *Revue Internationale de Philosophie* (Bruxelles), n°212, 2 (juin) 2000, 199-242. R

- [2000c]. Cosmologie et matière quantique, *Epistémologiques, philosophie, sciences, histoire. Philosophy, science, history* (Paris, São Paulo) 1, n°1-2, janvier-juin 2000, 219-249. (*in* Seidengart, Jean et Sczeciniarz, Jean-Jacques (éds.), « *Cosmologie et philosophie. Hommage à Jacques Merleau-Ponty* », numéro spécial.) R

- [2000d]. The quantum and the classical domains as provisional parallel coexistents, *Synthese* (Kluwer, Dordrecht/Boston), 125, n°1-2, oct.-nov. 2000, 179-200 (*in* French, Steven ; Krause, Décio ; Doria, Francisco (eds.), *« In honour of Newton da Costa, on the occasion of his seventieth birthday »*). R

- [2000e]. La science, cet obscur objet de la pensée et de l'utile, *L'Aventure humaine. Savoirs, libertés, pouvoirs* (PUF, Paris), n°10, mai 2000, 113-120.

  - (Version originale en anglais :) Science, that obscure object of thought and use, Contribution to the *Forum Has Science Failed Society ?, National Science Week*, *Dublin Institute of Technology*, Dublin, 5 novembre 1998), manuscrit non publié.

  - (Trad. en portugais (Brésil) :) [1999n].

- [2000f]. Préface, ou L'enchantement des contes véridiques et historiques de passions physiques et mathématiques, *in* Gindikin, Semyon Grigorevich, *Horloges, pendules et mécanique céleste. Mathématiciens et physiciens de la Renaissance à nos jours* (ouvrage traduit du Russe par Jean-Michel Kantor), deuxième édition, Cassini, Paris, 2000, p. 1-9. (Texte revu et modifié par rapport à la première édition [1995o]). D

- [2000g]. Sobre a recepção do programa causal de David Bohm (en collab. avec Olival Freire Jr. et Alberto Luiz da Rocha Barros), *in* Pessoa Jr, Osvaldo (org.), *Fundamentos da Física 1 : Simpósio David Bohm* (SP, setembro 1998), Editora

Livraria da Física, São Paulo, 2000, p. 123-134. R

- [2000h]. Neutrino (en collab. avec Bernard Pire), *Encyclopædia Universalis*, n[lle] éd., 2000.

- (Repris dans :) *Dictionnaire de la physique. Atomes et particules*, Encyclopædia Universalis/Albin Michel, Paris, p. 219-234. DE

- [2000i]. Les particules à la rencontre de la cosmologie (en collab. avec Jean Audouze), *Découverte, revue du Palais de la découverte* (Paris), n°276, mars 2000, 8-23. DE

- [2000j]. O século de Einstein, Entrevista com Cassio Vieira, *Ciência hoje* (SBPC, Rio de Janeiro), 28, n° 166, novembro de 2000, 8-12. G

- [2000k]. Des vérités provisoires mais nécessaires, *Sciences humaines*, Hors-série n° 31, déc. 2000-janv.-fév. 2001, 56-57. GD

- [2000l]. Neuf aphorismes sur le neuf… et le passage à l'an 2000, Dossier « Le neuf est-il progressiste ? », *Passages*, n° 106-107, déc. 2000-janv. 2001, 53-55. G

- [2000m]. De la population comme grandeur mesurable. Remarques sur les notions de quantification et de population d'après les recherches d'Hervé Le Bras, *Passages* (Paris), n° 104-105, oct.-nov. 2000, 81-83. G

- [2000n]. Interventions dans le débat qui a suivi la conférence de Jules Vuillemin sur « Formalisme et réflexion philosophique » (Séance du 25 mars 2000), *Bulletin de la Société française de Philosophie*, 94 è année, n°3, juillet-septembre 2000, 39-42. G

- [2000o]. [c.r. de lecture de] « Loïc Barbo, *Pierre Curie, 1859-1906. Le rêve scientifique* », *La Revue d'histoire du CNRS* (Paris), n° 2, mai 2000, 88-89. Cr

- [2000p]. Editorial (en collab. avec Pablo Mariconda et Jean-Jacques Sczeciniarz), *Epistémologiques, philosophie, sciences, histoire. Philosophy, science, history* (Paris, São Paulo) 1, n°1-2, janvier-juin 2000, 5-6. G

- [2000q]. [Analyse de la *Nouvelle théorie du mouvement*… du chevalier de Vivens], in Jean Haechler, *Le chevalier de Vivens, Un philosophe des Lumières en Guyenne*, Aubéron, Bordeaux, 2000, rapportée p. 80-83.

- [2000r]. (Traduction). Voix de l'Afrique (Voz de Africa), de Castro Alves, traduit du Portugais (Brésil), non publiée.

- [2000s]. Simples observaciones sobre las matemáticas y la educación matemática, *Lecturas Matematicas* (Bogotá, Col.), 21, 2000, n° 1, 79-85.

- [2000t]. *Rapport d'activités de l'Equipe REHSEIS, 1996-2000* (en collab. avec Karine Chemla), Equipe REHSEIS (UMR 7596), CNRS et Université Paris 7-Denis Diderot, Paris, 2000, 244 p.

2001

- [2001a]. Intelligibilité et historicité (Science, rationalité, histoire), *in* Saldaña, Juan José (ed.), *Science and Cultural Diversity. Filling a Gap in the History of Science*, Cadernos de Quipu 5, México, 2001, p. 59-95. R

- [2001b]. Incidences on the philosophy of science of the historiographical thema « Science and cultural diversity », Some remarks. (A letter from Paris), *in* Saldaña, Juan José (ed.), *Science and Cultural Diversity. Filling a Gap in the History of Science*, Cadernos de Quipu 5, México, 2001, p. 171-177. R

- [2001c]. A criação científica segundo Poincaré e Einstein, tradução de Sérgio Alcides, *Estudos Avançados* (São Paulo, Br), 15, n° 41 (jan-abr.), 2001, 157-192. R

- (Original en français :) La création scientifique selon Poincaré et Einstein, [1999i]. R

- [2001d]. Physical quantum states and the meaning of probability, as Chapter 14, *in* Galavotti, Maria Carla, Suppes, Patrick and Costantini, Domenico, (eds.), *Stochastic Causality*, CSLI Publications (Center for Studies on Language and Information), Stanford (Ca, USA), 2001, p. 235-255. R

- [2001e]. D'Alembert, la science newtonienne et l'héritage cartésien, *Corpus* (Revue de philosophie, Paris), n°38 : *D'Alembert* (éd. par Markovitz, Francine et Szczeciniarz, Jean-Jacques), 2001, 19-64. R

- [2001f]. L'histoire comparative des sciences modernes et le contexte de dépendance, *Convergencia. Revista de Ciencias Sociales* (México), Año 8, núm. 24, enero-abril 2001, 11-48. R

- (Trad. en angl. :) [1999e]).

- [2001g]. Réflexions sur le concept de temps, *Revista de Filosofia* (Madrid), 3a época, volumen XIV, 2001, n°25, 53-92. R

- [2001h]. La notion de grandeur et la légitimité de la mathématisation en physique, *in* Espinoza, Miguel (éd.), *De la science à la philosophie. Hommage à Jean Largeault*, L'Harmattan, Paris, 2001, p. 247-286. R

- (Trad. en angl. :) [2002n].

- [2001i]. Créer, représenter, comprendre (Création artistique et création scientifique), *in* Videira, Antônio Augusto e Salinas, Sílvio R.A. (orgs.), *A Cultura da Física : Contribuições em homenagem a Amelia Imperio Hamburger*, Editora Livraria da Física, São Paulo, 2001, p. 95-107. R

- [2001j]. L'espace-temps de la théorie de la relativité, *in* Piettre, Bernard (dir.), *Le temps et ses représentations*, coll. « Les Rendez-vous d'Archimède », L'Harmattan, Paris, 2001, p. 79-106.

- (Trad. en portugais :) [1995c]). R

- [2001k]. Les concepts de la physique : contenus rationnels et constructions dans l'histoire, *Principia* (Florianopolis, Br), 5, n°1-2, junho-dezembro 2001, 209-240.

- [2001l]. La pensée créatrice (et la relativité d'Einstein), *Science et Avenir. Hors-série*, n° 126, avril-mai 2001, 32-37. D.

- [2001m]. Dieu joue-t-il aux dés ? (la nature et les probabilités), *Science et Avenir. Hors-série. Les Thématiques*, n° 128, oct.-nov. 2001, *L'Empire des probabilités. Dieu joue-t-il aux dés* ?, 6-7. D

- [2001n]. Apprentissage d'un regard pour le nouveau millénaire, *in An 2001. Les enjeux du XXIe siècle*, Université des Sciences et Technologies de Lille, mars 2001, 26-27. G, L

- [2001o]. Uma visão antropológica do conhecimento científico (compte-rendu/resenha de « Bruno Latour, *Ciência em Ação. Como seguir cientistas e engenheros sociedade afora* »), *Ciência Hoje* (Rio de Janeiro, Br), vol. 28, n°168, janeiro-fevereiro de 2001, 68-69. CR

- [2001p]. Testemunho sobre o que faz o MAST, *Jornal da Ciência*, ano 16, n° 470, 9 de novembre 2001, 5.

- (Egalement :) Testemunho sobre o papel e os trabalhos do MAST e de seus pesquisadores, carta de Michel Paty, do CNRS, *Jornal da Ciência (JC E-Mail)*,1 outubro/2001, nº 1907. (Original en français : Un témoignage sur le rôle et les travaux du MAST et de ses chercheurs).

2002

- [2002a]. *Paul Langevin, son œuvre et sa pensée. Science et engagement* (éd. en collab. avec Bensaude-Vincent, Bernadette ; Bustamante, Martha-Cecilia et Freire, Olival), numéro spécial de *Epistémologiques. Philosophie, sciences, histoire. Philosophy, science, history* (Paris, São Paulo) 2, n°1-2, janvier-juin 2002, 1-256.R

- [2002b]. *Analyse et dynamique. Etudes sur l'œuvre de d'Alembert* (éd. en collab. avec Alain Michel), Collection « Mercure du Nord », Presses de l'Université Laval, Québec, 2002, 408 p. R

- [2002c]. Poincaré, Langevin et Einstein, *Epistémologiques. Philosophie, sciences, histoire. Philosophy, science, history* (Paris, São Paulo) 2, n°1-2, janvier-juin 2002, 33-73 (*in* Bensaude-Vincent, Bernadette ; Bustamante, Martha-Cecilia ; Freire, Olival & Paty, Michel (éds.), *Paul Langevin, son œuvre et sa pensée. Science et engagement*, numéro spécial). R

- [2002d]. Les recherches actuelles sur d'Alembert. A propos de l'édition de ses *Oeuvres complètes*, *in* Michel, Alain et Paty, Michel (éds.). *Analyse et dynamique. Etudes sur l'œuvre de d'Alembert*, Presses de l'Université Laval, Québec, 2002, p. 25-93. R

- [2002e]. Une métaphysique du mouvement au temps de d'Alembert. La théorie physique du monde du Chevalier François de Vivens, *in* Kölving, Ulla et Passeron, Irène (éds.), *Science, musiques, Lumieres. Mélanges offerts à Anne-Marie Chouillet*, Centre International d'Etude du XVIII è siècle, Ferney-Voltaire (F), 2002, p. 59-81. R

- [2002f]. La physique quantique ou l'entraînement de la forme mathématique sur la pensée physique, *in* Mataix, Carmen y Rivadulla, Andrés (eds.), *Física cuantica y realidad. Quantum physics and reality*, Editorial Complutense, Madrid, 2002, p. 97-134. R

- [2002g]. Physique quantique et causalité selon Bohm. Analyse d'un cas d'accueil défavorable (en collab. avec Olival Freire Jr. et Alberto Rocha Barros),

in Kragh, Helge ; Vanpaemel, Geert & Marage, Pierre (eds), *History of Modern Physics*. Proceedings of the *XXth International Congress of History of Science, Liège, 20-26 July 1997*, vol. XIV, Collection de Travaux de l'Académie Internationale d'Histoire des Sciences, Brepols, Liège, 2002, p. 261-273. R

- [2002h]. Epistemic operations and formal epistemology. Contribution to the study of epistemic opérations in scientific theories, as chap. 4 *in* Mugur-Schächter, Mioara and van der Merwe, Alwyn (eds.), *Quantum Mechanics, Mathematics, Cognition and Action. Proposals for a Formalized Epistemology*, Coll. « Fundamental Theories of Physics », Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002, p. 37-71. R

- [2002i]. Avant-propos (en collab. avec Alain Michel), *in* Michel, Alain et Paty, Michel (éds.). *Analyse et dynamique. Etudes sur l'œuvre de d'Alembert*, Coll. « Mercure du Nord », Presses de l'Université Laval, Québec, 2002, p. 7-23. Cr

- [2002j]. Avant-propos (en collab. avec Bernadette Bensaude-Vincent, Martha-Cecilia Bustamante et Olival Freire), *in Paul Langevin, son œuvre et sa pensée. Science et engagement* (éd. par Bensaude-Vincent, Bernadette ; Bustamante, Martha-Cecilia et Freire, Olival), numéro spécial, *Epistémologiques. Philosophie, sciences, histoire. Philosophy, science, history* (Paris, São Paulo) 2, n°1-2, janvier-juin 2002, 11-15. Pr

- [2002k]. Jacques Merleau-Ponty, philosophe de la cosmologie contemporaine (en collab. avec Jean-Jacques Szczeciniarz), *Le Monde*, 14-15 juillet 2002, 12. G

- [2002l]. Velha revolucionária. A teoria quântica em sua vertente brasileira, trad. por Caetano Plastino, *Jornal de Resenhas (Folha de São Paulo/Discurso editorial)*, n° 84, 13 de abril de 2002, 7. (Cr des ouvrages : José Leite Lopes : *Unificando as forcas da natureza* ; Mahir S. Hussein e Silvio R.A. Salinas (orgs.) : *100 anos de física quântica*). (Original en français.) Cr

  - (Reproduit dans :) *bIFUSP. Boletim do Instituto de Fisica da Universidade de São Paulo* (SP, Br), Ano 18, n°11, 26.04.2002.

- [2002m]. L'intelligibité scientifique (et le sens commun), *Sciences et Avenir. Hors série*, n° 132, octobre-novembre 2002 (« *Le bon sens et la science* »), 64-69. D

- [2002n]. Interventions dans le débat qui a suivi la conférence d'Alain Aspect sur « Les corrélations quantiques à l'épreuve de l'expérience : au-delà du réalisme local » (Séance du 17 mars 2001), *Bulletin de la Société Française de Philosophie*, 96è année, n°1, 2002, 21-26. V

- [2002o]. To Suspended Informal Time, as chap. 13, *in* Mugur-Schächter, Mioara and van der Merwe, Alwyn (eds.), *Quantum Mechanics, Mathematics, Cognition and Action. Proposals for a Formalized Epistemology*, Coll. « Fundamental Theories of Physics », Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002, p. 431. L

  - (Original en français :) Au temps suspendu informel, inédit.

2003

- [2003a]. *La physique du XXe siècle*, Collection « Sciences et histoires », EDP-

Sciences, Paris, 2003, 318 p. DG

- [2003b]. *Réalité et intelligibilité : chemins épistémologiques. Recherches en physique, en philosophie et en histoire des sciences. Notice des Titres et travaux*, Equipe REHSEIS (CNRS et Université Paris 7-Denis Diderot), Paris, mars 2003, 260 p. R

- [2003c]. Jacques Merleau-Ponty, *Sur la science cosmologique. Conditions de possibilité et problèmes philosophiques*, Textes organisés et présentés par Michel Paty et Jean-Jacques Szczeciniarz, Collection « Penser avec les sciences », EDP-Sciences, Paris, 2003, 352 p. R

- [2003d]. Campus sitiado. Le campus en état de siège. Scènes d'une saison à Brasília, juilet-décembre 1965, *in* Aldrovandi, Ruben, Santoro, Alberto & Gago, José Mariano (eds.), *Roberto Salmeron Festschrift*; *A Master and a Friend*, AIAFEX, Rio de Janeiro (Br), 2003, p. 257-302.

- [2003e]. *Pense-bêtes d'ordinateurs, correspondances internautiques*. Textes de Michel Paty. Photos de Rachel Paty. Edition provisoire manuelle limitée à quelques exemplaires. St Julien Molin Molette, avril 2003, 32 p.

- [2003g]. La notion de déterminisme en physique et ses limites, *in* Debru, Claude et Viennot, Laurence (éds.), *Enquête sur le concept de causalité*, Collection « Sciences, histoire et société », Presses Universitaires de France, Paris, p. 77-114. R

- [2003h]. The idea of quantity at the origin of the legitimacy of mathematization in physics, *in* Gould, Carol (ed.), *Constructivism and Practice : Towards a Historical Epistemology*, Rowman & Littlefield, Lanham (Md.,USA), 2003, p. 109-135. R

- (Original en français :) [2001h].

- [2003i]. A ciência e as idas e voltas do senso commun, Traduzido do original em francês por Maria Aparecida Corrêa-Paty, *Scientiæ Studia* (São Paulo, Br), 1, n°1, 2003, jan.-mar., 9-26. R

- *in* Kreinz, Glória & Pavan, Crodowaldo (orgs.), *Congresso Internacional de Divulgação Científica. Etica e Divulgação Científica : Os Desafios no Novo Século. Anais*, Coleção « *Divulgação Científica* », NJR, ECA/USP, São Paulo, 2004, p. 175-183. R

- (Original en français). La science et les aller-retours du sens commun.

- (Version partielle en français :) [2002m].

- [2003k]. The concept of quantum state : new views on old phenomena, *in* Ashtekar, Abhay ; Cohen, Robert S.; Howard, Don ; Renn, Jürgen ; Sarkar, Sahotra & Shimony, Abner (eds.), *Revisiting the Foundations of Relativistic Physics : Festschrift in Honor of John Stachel*, Boston Studies in the Philosophy and History of Science, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003, p. 451-478. (Original en françaisÊ: [2003j]).R

- [2003l]. The problem of the interpretation of physical magnitudes and the intelligibility of the quantum world, *in* Debru, Claude & Paty, Michel (éds.),

Changements dans l'interprétation et contenus conceptuels. Changes in interpretation and conceptual contents, *XXIst International Congress of History of Science / XXI è Congrès International d'Histoire des Sciences, México, juillet 2001*, Universidad Nacional Autónoma de México, México, à paraître.

- [2003m]. Μνθικο και ορθολογικο στοιχειο στιζ « οριακεζ ζθεωριεζ » τηζ σνγχρονησ επιστημησ, *Ογτοπια* (*Utopia*, Athènes, Grèce), n° 55, Μαιοσ–Ιονιοσ 2003, 75-104. (Version longue, traduit en grec par Eftichios Bitsakis). R

  - (Original en français :) Le mythique et le rationnel dans les « théories limites » de la science contemporaine, Exposé au Colloque *Επιστεμεσ χαι Θρησκεια* (*Epistemes xai Treskeia*, *Sciences et religions*), 22-23 mai 2002 (le 23). – Version courte publiée : [2003n].

- [2003n]. Le mythique et le rationnel dans les « théories limites » de la science contemporaine, *Raison Présente*, n°, 4è trim. 2003, -. (Version courte). R

- [2003o]. Changements d'interprétation et contenus conceptuels. Introduction (en col. avec Claude Debru), *in* Debru, Claude & Paty, Michel (éds.), *Changements dans l'interprétation et contenus conceptuels. Changes in interpretation and conceptual contents*, *XXIst International Congress of History of Science / XXI è Congrès International d'Histoire des Sciences, México, juillet 2001*, México, à paraître.

- [2003p]. Jacques Merleau-Ponty (1916-2002) : le regard d'un philosophe sur la cosmologie contemporaine (en collab. avec Jean-Jacques Szczeciniarz), *in* Merleau-Ponty, Jacques, *Sur la science cosmologique. Conditions de possibilité et problèmes philosophiques*, Textes organisés et présentés par Michel Paty et Jean-Jacques Szczeciniarz, Collection « Penser avec les sciences », EDP-Sciences, Paris, 2003, p. 21-33. R

- [2003q]. Préface (en collab. avec Jean-Jacques Szczeciniarz), *in* Merleau-Ponty, Jacques, *Sur la science cosmologique. Conditions de possibilité et problèmes philosophiques*, Textes organisés et présentés par Michel Paty et Jean-Jacques Szczeciniarz, Collection « Penser avec les sciences », EDP-Sciences, Paris, 2003, p. 5-20. RPr

- [2003r]. Préface (avec Jean-Jacques Szczeciniarz), *in* Granger, Gilles Gaston, *Philosophie, langage, science*, Collection « Penser avec les sciences », EDP-sciences, Paris, 2003, p. 7-8. Pr

- [2003s]. (C.r. de lecture :) « Miné, Philippe, *Bizarre Big Bang. L'épopée de la physique*, Belin-Pour la Science, Paris, 2001 », *Revue d'Histoire du CNRS*, n°8, mai 2003, 96. Cr

- [2003t]. Jacques Merleau-Ponty (1916-2002) (en collab. avec Jean-Jacques Szczeciniarz), *Universalia 2002*, Encyclopaedia Universalis, Paris, 2003, p. 459-460.

- [2003u]. Presentation of Luis Carlos Arboleda, *in* Saldaña, Juan José (ed.), *Science and Cultural Diversity. Proceedings of the XXIst International Congress of History of Science*, vol.I : *Plenary Lectures*, Universidad Nacional Autónoma de México/Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y la Tecnología, México,

2003, p. 189-191.

- [2003v]. La religion cosmique d'Einstein, *Science et Avenir Hors Série*, n°137; décembre 2003-janvier 2004Ê: *Le Dieu des savants*, 20-24, 78.

2004

Réimpressions.

- [1997a]. *Albert Einstein, ou la création scientifique du monde*, Collection « Figures du savoir », Belles Lettres, Paris, 1997, 156 p. Deuxième tirage, 2004.

- [1998a]. *D'Alembert ou la raison physico-mathématique au siècle des Lumières*, Collection « Figures du savoir », Les Belles Lettres, Paris, 1998, 207 p. Deuxième tirage, 2004.

- [2004a]. *Formación de Cultura Científica en Colombia. Ensayos sobre Matemáticas y Física* (éd. en collab. avec Arboleda, Luis Carlos), Instituto de Educación y Pedagogia, Universidad del Valle, Cali (Colombia), 2004, 152 p.

- [2004c]. Remarks about a « general science of reasoning », *in* Stadler, Friedrich (eds.), *Induction and deduction in the sciences.Vienna Circle Institute Yearbook*, Kluwer, Dordrecht, 2004, p.185-193.

- [2004d]. Genèse de la causalité physique, *Revue Philosophique de Louvain* (Louvain, Be), 102, n°3, août 2004, 417-446. (Trad. en portug. :) [2004e].

- [2004e]. A Gênese da causalidade física, trad. por Pablo Rubén Mariconda, *Scientiæ Studia* (USP, São Paulo, Br), 2, n°1, jan.-mar. 2004, 9-32. (Orig en français :) [2004d].

- [2004f]. L'élément différentiel de temps et la causalité physique dans la dynamique de Alembert, *in* Morelon, Régis & Hasnawi, Ahmad (éds.), *De Zénon d'Elée à Poincaré. Recueil d'études en hommage à Roshdi Rashed*, Editions Peeters, Louvain (Be), 2004, p. 391-426. (Trad. en portug. :) [2004g].

- [2004g]. Einstein 1905, l'année admirable, *Pour la Science* (édition française de *Scientific American)*, n° 326, décembre 2004 (« *L'Ere Einstein* »), 26-33.

- [2004h]. A noção de determinismo na física e seus limites, Tradução em português (Brasil) por Pablo Ruben Mariconda, *Scientiae Studia* (USP, São Paulo), vol. 2, 2004, n. 4, dez., 465-492. (Original en français :) [2003g].

- [2004i]. Matière et nécessité dans la connaissance scientifique, *in* Dubessy, Jean ; Lecointre, Guillaume & Silberstein, Marc (éds.), *Les matérialistes (et leurs détracteurs)*, Syllepses, Paris, 2004, p. 155-180. (Bibliogr. fondue dans celle du livre). (Trad. en portug. :) [2006i].

- [2004j]. Nouveauté et émergence dans la quête des fondements, *Principia, Revista de Epistemologia* (UFSC, Florianopolis, SC, Brésil), 8, 2004, n°1, 19-54.

- [2004k]. Formación y Desarollo de la Cultura Científica en Colombia : La Física de 1880 a 1940 (en collab. avec Regino Martinez-Chavanz), *in* Arboleda, Luis Carlos & Paty, Michel (eds.), *Formación de Cultura Científica en Colombia. Ensayos sobre Matemáticas y Física*, Instituto de Educación y Pedagogia,

Universidad del Valle, Cali (Colombia), 2004, p. 111-151. (Version en français :) [2004k/Fr]. La Physique en Colombie, de 1880 à 1940. La réception de la théorie de la relativité, non publié.

- [2004l]. Introducción (en collab. avec Luis Carlos Arboleda), *in* Arboleda, Luis Carlos & Paty, Michel (eds.), *Formación de Cultura Científica en Colombia. Ensayos sobre Matemáticas y Física*, Instituto de Educación y Pedagogia, Universidad del Valle, Cali (Colombia), 2004, p. 11-18.

- [2004m]. Ensina-se a paixão de conhecer e entender as coisas do mundo ?, Tradução em portugues por Iralnido B. Lopes, *in* Pascale, Rosana & Lara, William (org.), *Relações do ensinar*, Paulus, São Paulo, (SP, Brasil), 2004, p. 26-29. (Original en français :) [2004m/Fr]. Peut-on enseigner la passion de connaître et de comprendre les choses du monde ?, inédit.

- [2004n]. Le Cosmos avant Einstein, *Ciel et Espace. Hors-Série*, septembre 2004 (*Einstein, l'homme qui a inventé l'Univers*), 29-35. (Version intégrale en français :) Le Cosmos avant Einstein. L'idée cosmologique avant la science cosmologique, inédit. (Trad. en portug, Br de la version intégrale :) [2008o].

2005

Republication :

- Les concepts de la physique : contenus rationnels et constructions dans l'histoire, *in* Marie-Claire Hoock-Demarle (éd.), *La Galaxie Diderot. Les Lettres et sciences humaines à Paris 7-Denis-Diderot*, 2005, p. 263-284. (Edition originale : [2001k]).

- [2005a]. *D'Alembert, a razão físico-matemática no século das luzes*, trad. portug. por Flávia Nascimento, revisada por José Oscar Marques, Prefácio à edição brasileira pelo autor, Estação Liberdade, São Paulo (SP, Brasil), 2005, 222p.

- (Original en français :) [1998a].

- [2005b]. *Changes in interpretation and conceptual contents. Changements dans l'interprétation et contenus conceptuel. Symposium* (éd., en collab. avec Claude Debru), in series « Saldaña, Juan José (ed.), *Science and Cultural Diversity. Proceedings of the XXI*st *International Congress of History of Science* (Mexico, 2001) », Universidad Autónoma de México & Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y de la Tecnologia, CD-Rom, México, 2005, vol. 37, 230 p. (p. 2626-2851).

- [2005c]. The question of rationality in front of the diversity of knowledge practices, in D'Ambrosio, Ubiratan (ed.), *in* Saldaña, Juan José (ed.), *Science and Cultural Diversity. Proceedings of the XXI*st *International Congress of History of Science* (Mexico, 2001), Universidad Autónoma de México & Socedad Mexicana de Historia de la Ciencia y de la Tecnologia, CD-Rom, México, 2005, vol. 42, p. 3261-3281.

- [2005d]. The problem of the interpretation of physical magnitudes and the intelligibility of the quantum world, *in* Debru, Claude & Paty, Michel (éds.), *Changes in interpretation and conceptual contents. Changements dans l'interprétation et contenus conceptuels*, *in* Saldaña, Juan José (ed.), *Science and Cultural Diversity. Proceedings of the XXI*st *International Congress of History of Science* (Mexico, 2001), Universidad Autónoma de México & Socedad Mexicana de Historia de la Ciencia y de la Tecnologia, CD-Rom, México, 2005, vol. 37, p. 2774-2793.

- [2005e]. Campo continuo e quanta : as duas abordagens teóricas da matéria segundo Einstein. A relação da teoria com seu objeto. Trad. em português do original em francês por Zília Mara Scarpari, *Ciência & Ambiente* (UFSM, Santa Maria, RS, Br), n°30, 2005, « *Einstein* », 35-35. (Original en français :) [2007j].

- [2005f]. Pensée rationnelle et création scientifique chez Poincaré, *Colloque Henri Poincaré « Science et pensées »*, lundi 17 janvier 2005, CD-Rom Fondation Sophia-Antipolis, 2005, 19 p.

- [2005g]. A ciência como conhecimento em movimento, *in* Barra, E. *et al*. (eds), *Anais do 3º Encontro da Rede Paranaense de Pesquisa em História e Filosofia da Ciência*, Curitiba (Paraná), SCHLA/UFPR, 2005, CD-Rom, p. 6-13.

- [2005h]. A teoria da relatividade de Einstein como exemplo de criação científica, *in* Barra, E. *et al*. (eds), *Anais do 3º Encontro da Rede Paranaense de Pesquisa em História e Filosofia da Ciência*, Curitiba (Paraná), SCHLA/UFPR, 2005, CD-Rom, p. 157-178.

- [2005i]. O elemento diferencial de tempo e a causalidade física na dinâmica de d'Alembert, trad. em português (Brasil) por Maria Aparecida Corrêa-Paty, *Discurso* (USP, São Paulo, Br), 2005, 167-216. (Orig en français :) [2004f].

- [2005j]. Einstein 1905 : La théorie de la relativité restreinte comme création scientifique, *Cahiers rationalistes*, 2005. n°579, novembre-décembre 2005, 6-16 ; n°580, janvier-février 2006, 6-18.

- (Trad. en espagnol :)

- [2005k]. « Prolegómena otn meletn tvn oceow nanames aothe episthmh kai thnkoinwnia », *Mandragóras*, Athènes, n° 34, octobre 2005), 78-82. (Offert en hommage à Eftichios Bitsakis). (Original en français :) Prolégomènes à l'étude des rapports entre science et société, [2007g].

- [2005l]. Inteligibilidade racional e historicidade, trad. em português (Brasil) por René Lenard, *Estudos Avançados* (São Paulo, Br), vol. 19, n°54, maio-agosto 2005, 369-390. (Original en français :) [2005m].

- [2005m]. Intelligibilité rationnelle et historicité, *La Pensée* (Paris), n°344, oct.-nov.-déc 2005, 113-132. (reprise partielle et légère actualisation de [2001a]. (Trad. en portug. (Brésil) :) [2005l].

- [2005n]. A reflexividade da ciência e o Brasil. A guise de agradecimento. *in* Pietrocola, Mauricio & Freire, Olival (eds.), *Filosofia, Ciência e História. Michel Paty e o Brasil, uma homenagem aos 40 anos de colaboração*), Discurso Editorial (São Paulo, Br), 2005, p. 491-506.

- [2005nb]. Bibliografia seletiva por temas dos trabalhos publicados de Michel Paty, *in* Pietrocola, Mauricio & Freire, Olival (eds.), *Filosofia, Ciência e História. Michel Paty e o Brasil, uma homenagem aos 40 anos de colaboração*), Discurso Editorial (São Paulo, Br), 2005, p. 507-532.

- [2005o]. Des Fondements vers l'avant. Sur la rationalité des mathématiques et des sciences formalisées, *Philosophia Scientiæ* (Univ. Nancy 2/Kimé, Paris), 9 (2), 2005, 109-130. (Contribution au *Colloque International «Aperçus philosophiques en logique et en mathématiques. Histoire et actualité des théories sémantiques et syntaxiques alternatives»*, *Nancy, 30 sept.-4 oct. 2002*).

- [2005p]. O Estílo científico de Einstein na exploração do domínio quântico, *Scientiae Studia* (*Revista Latino-Americana de Filosofia e História da Ciência*, Sao Paulo, Br.), vol. 3, n°4, out.-dez., 2005, 597-619. (Original en anglais :) à paraître.

- [2005q]. Introdução a tres textos de Einstein sobre a geometria, a teoria física e a experiência, *Scientiae Studia* (*Revista Latino-Americana de Filosofia e História da Ciência*, Sao Paulo, Br.), vol. 3, n°4, out.-dez., 2005, 641-681. (Original en français :) Introduction à trois textes d'Einstein sur la géométrie, la théorie physique et l'expérience, inédit.

- [2005r]. Sobre o encontro casual de Norbert Wiener com Albert Einstein em uma viagem de trem (en collab. avec Olival Freire), *Scientiae Studia* (*Revista Latino-Americana de Filosofia e História da Ciência*, Sao Paulo, Br.), vol. 3, n°4, out.-dez., 2005, 621-639. (Sur la rencontre fortuite de Norbert Wiener avec Albert Einstein dans un voyage en train).

- [2005s]. Pensando la naturaleza, respuestas al questonario, *in* González Recío, José Luis ; González Castán, Óscar ; Rioja, Ana & Valor Yébenes, Juan Antonio (coord.) [2005]. *Pensando la Naturaleza desde las Universidades Europeas*, Universidad Complutense , Madrid, 2005, p. 3, 10-11, 26, 35-36, 45-46, 53-54, 62-63, 70, 78-79, 87, 94-95, 102-103. (Original en français :) [2005sf]. Penser la nature, réponse au questionnaire, inédit.

- [2005t]. Changements dans l'interprétation et contenus conceptuels : Introduction (avec C. Debru), *in* Debru, Claude & Paty, Michel (éds.), *Changes in interpretation and conceptual contents. Changements dans l'interprétation et contenus conceptuels*, *in* Saldaña, Juan José (ed.), *Science and Cultural Diversity. Proceedings of the XXI*st *International Congress of History of Science* (México, 2001), Universidad Autónoma de México & Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y de la Tecnologia, CD-Rom, México, 2005, vol. 42, p. 2626-2638.

- [2005u]. Prefácio à tradução em português (Brasil) de M. Paty, *D'Alembert*, trad. por Julio Kawata, revisada por José Oscar Marques, Estação Liberdade, São Paulo (SP, Brasil), 2004, p. 15-18. (Original en français :) Préface à la traduction en portugais (Brésil) de *D'Alembert*, inédit.

- [2005v]. Einstein 1905 : Inteligibilidade racional e criação científica (Elementos extraidos do artigo de MP : A criação científica segundo Poincaré e Einstein, *Estudos Avançados*, vol. 15, n° 41, jan.-abril 2001 : [2001c]), *in* Barra, Eduardo S. *et al.* (orgs.) [2005]. *III Encontro da rede Paranaense de Pesquisa em História*

*e Filosofia da Ciência, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 16 a 18 de março de 2005. Caderno de texto*s, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p. 84-92). (Note : contenu différent des autres textes sous le même titre).

- [2005w]. Einstein 1905. Das wunderbare Jahr, Trad. en allemand, *in* « Einstein, ein Wissenschaftler mit einem politischen Gewissen », *Themenabend « Albert Einstein », Site Internet d'Art*e-*TV*, avril 2005. (Original en français :) [2004b].

- [2005x]. La révolution Einstein, Entretien réalisé par Lucien Degoy, *L'Humanité*, 17 janvier 2005, p. 23.

- [2005y]. La nouvelle culture dialectique (cr de lecture de « Lucien Sève et collab., *Emergence, complexité et dialectique*, Odile Jacob, Paris, 2005 »), *L'Humanité*, juin 2005, p. 22.

- (Trad. en angl. :) [2005ya].

- [2005y/a]. The New Dialectic Culture, Transl. in english by Hilary Petts Péré, *L'Humanité in English*, 19.10.2005 (Internet). (Original en français :) [2005y].

- [2005z]. Avant-propos (de la 2e édition) (en collab. avec Jean-Jacques Szczeciniarz), *in* José Leite Lopes et Bruno Escoubès, *Sources et évolution de la physique quantique. Textes fondateurs*, EDP-Sciences, Paris-Les Ulis, 2005, p. iii-vii.

- [2005z1]. Einstein e o papel da matemática na física, Trad. em port. (Br) por Oscar João Abdounur, *in* Brolezzi, Antonio Carlos & Abdounur, Oscar João (eds.), *SPHEM. Possibilidades de diálogos. Anais do 1° Seminario Paulista de História e Educação Matemática (10-12 out. 2005),* Instituto de Matematica e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo (Br), 2005, p. 33-56.

- (Original en français :) Einstein et le rôle des mathématiques en physique, inédit).

- (Version en espagnol :) [2006b].

2006

- [2006a]. Temas de una trayectoria, Entrevista recojida por Germán Pino Guerrero (Diciembre de 2005), *Praxis Filosófica* (Cali, Colombia), Nueva serie, n° 22, enero-junho 2006, 187-209.

- [2006b]. Einstein y el rol de las matematicas en la física, Trad en castellano por Susana Gomez G. y Maribel Anacona, revisada por Germán Guerrero, *Praxis Filosófica* (Cali, Colombia), Nueva serie, n° 22, enero-juño 2006, 5-27. (Original partiellement en français et en portugais.) (Version en français :) Einstein et le rôle des mathématiques en physique, inédit, [sous presse, e]. (Trad. en portugais :) [2005z1].

- [2006c]. The concepts of physics : rational contents and constructions in history, transl. by Fahrang Erfani, *in* Rockmore, Tom & Margolis, Joseph (eds.), *History, Historicity and Science*, Ashgate Publ. Ltd., Aldershot Burlington (UK), 2006, p. 7-30. (Original en français :) [2001k].

- [2006d]. L'espace physique vu du monde quantique. Une approche épistémologique, *in* Lachièze-Rey, Marc (éd.), *L'espace physique, entre mathématiques et philosophie*, Coll. « Penser avec les sciences », EDP-Sciences, Paris-Les Ulis, 2006, p. 41-79.

- [2006e]. The Exact Sciences (Translated from french by Malcolm DeBevoise), *in* Kritzman, Lawrence (ed.), *The Columbia History of Twentieth Century French Thought*, Columbia University Press, New York, 2006, p. 205-212.

- [2006f]. La nature du temps cosmologique selon Jacques Merleau-Ponty, *in* Bachta, Abdelkader (éd.), *Jacques Merleau-Ponty : une pensée multiple*, Centre de *Publications Universitaire*, Tunis, 2006, p. 119-159.

- [2006g]. Respuestas a diez cuestiones sobre La ciencia en su historia. Contribuciones, *in* José Luis Gonzáles Recio (ed.), *La Ciencia en su historia, Cuestiones cardinales*, CERSA, Madrid (Es), 2006, p. 26-27 ; 79-81 ; 100-102 ; 120-122 ; 139-140 ; 156-158 ; 181-182 ; 201-202 ; 221-222 ; 241-243 ; 261-264. (Trad. en espagnol).

- (Original en français :) Réponses à dix questions sur La science dans son histoire, inédit [2006gf].

- [2006h]. Materia e necessidade no conhecimento científico, trad. em português (Br) por Claudemir Roque Tossato e Mauricio de Carvalho Ramos, *Scientiae Studia* (*Revista Latino-Americana de Filosofia e História da Ciência*, Sao Paulo, Br.), vol. 4, 2006, n°4, 589-613. (Original en français:) [2004i].

- [2006i]. Sous le signe de la raison et de l'histoire humaine, *in* Morélon, Régis & Hasnaoui, Ahmad (éds.), *De Bagdad à Paris. Hommage à Roshdi Rashed*, Institut du Monde Arabe, Paris, 2006, p. 57-67.

- [2006j]. Os conceitos da física : conteúdos racionais e construções na história, trad. por Silvia Waisse Priven, in Affonso-Goldfarb, Ana Maria; Zaterka, Luciana & Ferraz, Márcia H.M. (eds.), *Atas do Colóquio CESIMA Ano X* (outubro de 2005), CESIMA &PUC/SP, São Paulo (Br), CD-Rom, 2006, cap. 29, 1-35. (Original en français:) [2001k].

- [2006k]. La cosmologie et la place de l'homme dans la nature (ou les équivoques du « principe anthropique »), *Ciel et Espace Hors série* (Paris), octobre 2006, *« L'Univers a-t-il besoin de Dieu ? »*, 68-69. (Publié avec coupures sous le titre « Le principe anthropique est une conception métaphysique inutile »).

- [2006l]. Préface, *in* Harada, Masaki, *La Physique au carrefour de l'intuitif et du symbolique. Une étude épistémologique des concepts quantiques à la lumière de la phénoménologie herméneutique*, Collection « Science. Histoire. Philosophie », Vrin, Paris, 2006, p. ix-xvi.

- [2006m]. Prefácio (trad em português por Maria das Graças de Souza), *in* Russo, Marisa & Caponi, Sandra (eds.), *Estudos de filosofia & história das ciências biomédicais*, Discurso Editorial, São Paulo, 2006, p. 9-13. (Texte original en français :) [2006wFr]. Préface, inédit, dactyl., 6 p.

- [2006n]. In Memoriam Jhonny Silva Aranguren, Estudiante asesinado de la Universidad del Valle, Carta al Prof. G. Guerrero, *Praxis Filosófica* (Cali,

Colombia), Nueva serie, n° 22, en.-jun. 2006, 225-226.

2007

- [2007a]. *Chaos et Systèmes dynamiques. Eléments pour une épistémologie* (éd. en collab. avec Sara Franceschelli et Tatiana Roque), Collection « Visions des sciences », Hermann, Paris, 2007, 396 p.- [2007b].

- [2007b]. Champ continu et quanta : les deux approches théoriques de la matière selon Einstein. Le rapport de la théorie à son objet, *in* Bachta, Abdelkader (dir.), *La science einsteinienne : ses origines et son contenu*, Centre de Publication Universitaire, Tunis, 2007, p. 27-53. (*Actes du Colloque*, Tunis, déc. 2005).

- [2007c]. La science et l'imaginaire, ou l'invitation aux voyages de Jules Verne, *Revue Jules Verne*, n°25, 2007, 1er semestre, 67-77. (Conclusions de la Journée d'Etudes *« Jules Verne (1828-1905)*, ou *la science en drame »,* organisée par le Centre François Viète d'Histoire des Sciences et des Techniques, Amphithéâtre du Muséum d'Histoire Naturelle de Nantes, 4 Mars 2005).

- [2007d]. Prolégomènes à l'étude des rapports entre science et société, *Raison Présente*, n°161, 1er trimestre 2007, 113-124. (Trad en grec :) [2005k].

- [2007e]. Rationalités comparées des contenus mathématiques. Sur les travaux de Roshdi Rashed, ou : La philosophie dans le champ de l'histoire des sciences, *Dogma. Revue des revues. Epistémologie* (Revue électronique, Paris), 36 p. (Contribution au *Colloque des Sciences Arabes*, *Damas (Syrie), 1-4 novembre 2002*.)

- [2007f]. La notion de grandeur physique et les systèmes dynamiques, *in* Franceschelli, Sara ; Paty, Michel & Roque, Tatiana (éds.), *Chaos et Systèmes Dynamiques. Eléments pour une Epistémologie des Systèmes Dynamiques* (éd., en collab. avec Collection « Visions des sciences », Hermann, Paris, 2007, p. 240-266.

- [2007g]. Avant-propos, & Introduction [Pour une approche épistémologique des systèmes dynamiques non-linéaires et du « chaos déterministe »] (en collab. avec Sara Franceschelli & Tatiana Roque), *in* Franceschelli, Sara ; Paty, Michel et Roque, Tatiana (eds.), *Chaos et Systèmes Dynamiques. Eléments pour une Epistémologie des Systèmes Dynamiques*, Hermann, Paris, 2007, p. 1-9.

2008

- [2008a]. *A Física do século XX*, trad. portug. por Irineia L Batista, Mauricio Carvalho, Maria Aparecida Corrêa, Lucio Costa, Olival Freire, Claudemir Roque Tossato, revisão por Pablo Mariconda, Ideias e Letras, São Paulo (Br.), 2008, sous presse. (Trad. de [2003a]. *La Physique du XXe siècle*.).

- [2008b]. *Einstein, ou A criação científica do mundo*, trad. em portug. (Brasil) por Mário Laranjeira, revis. técn. e cientif. por Maria Aparecida Corrêa, Estação Liberdade, São Paulo (SP, Brasil), 2007, p. (Trad. de [1997a]. *Einstein ou La création scientiifique du monde*).

- [2008f]. Du style en histoire des sciences, *Colloque « Quelle histoire font les historiens des sciences et des techniques?* », Lille, 23-25 mai 2007, Actes, sous presse.

- [2008g]. Les analogies mathématiques au sens de Poincaré et leur fonction en physique, *in* Durand-Richard, Marie-José (éd.*), Le statut de l'analogie dans la démarche scientifique*, L'Harmattan, Paris, 2008, p.-.

- [2008h]. Einstein 1905 : Inteligibilidad racional y creación científica, Traduccion en castellano por Juliana Gristelli, Conferencia inaugural, *Evento conmemorativo de los 100 años de la Teoria de la Relatividad*, 26-30 Septiembre de 2005, Universidad del Valle, Cali (Colombia). *Actas*, sous presse. (Original en français :) [2005j].

- [2008i]. La connaissance scientifique comme pensée symbolique. Quelques implications philosophiques et épistémologiques de ce point de vue, *Actes du Colloque « Michel Paty, philosophe et historien des sciences »*, Université de Tunis, sous presse.

- [2008j]. Connaissance symbolique et réalisme critique,

- [2008k]. Auguste Comte et la dynamique, Actes du *Colloque « Auguste Comte, la science et la société »*, Paris, 6 octobre 2007. sous presse.

- [2008l]. Un nouveau regard sur la genèse et le développement de la sociologie de Comte : à propos d'un livre récent traduit du brésilien (Séminaire, Maison Auguste Comte, Paris, sameedi 16 février 2008), Dogma, sous presse.

- [2008m]. Connaissance de la matière imperceptible. Physique et philosophie. Ou : comment concevoir des objets matériels qui échappent aux sens ?, *Les Nouvelles d'Archimède* (Université de Lille 1), n°47, janvier-mars 2008, 17-18.

- [2008n]. L'ascenseur d'Einstein, *Sciences et Avenir*, *Hors-Série* « Dix expériences imaginaires », janvier 2008. (Texte intégral avant coupres d'édition : [2008n1], Une expérience de pensée sur la gravitation par Einstein).

- [2008o]. O Cosmos antes de Einstein. A idéia cosmológica antes da ciência cosmológica. Trad. em português. (Original en français :) Le Cosmos avant Einstein. L'idée cosmologique avant la science cosmologique, inédit dans la version intégrale. (Publication en français en version abrégée :) [2004n].

- [2008p]. Einstein et la philosophie de la matière, *Symposium sur les conséquences philosophiques des théories d'Einstein*, Athènes, 19-20 déc. 2005 . Egalement : *Séminaire sur l'énergie*, Equipe Rehseis, janvier 2006.

- [2008q]. Construcción de objecto y objectividad en fisica cuantica, trad. en castellano por Regino Martinez-Chavanz, Conferencia para la possessión de miembro correspondiente de la Academia Colombiana de las Ciencias Exactas y Naturales, Revista de la Academia, 2008, sous presse. (Original en français : Construction d'objet et objectivité en physique quantique, inédit).

- [2008r]. Einstein e a física quântica no periodo da sua viagem na America do Sul (1925), trad. (Original en français :) Einstein et la physique quantique au moment de son voyage en Amérique latine (1925), inédit.

- [2008s]. A historia da ciência descubrindo o Brasil, Conferência-Depoimento, MAST (Rio de Janeiro, Br), 3.05.2000), texte revu d'après la transcription,

- [2008t]. Universidade e ditadura. Uma tragédia que virou Historia. Brasilia 1964-1965, quarenta anos depois. Sobre o livro de Roberto Salmeron, *A universidade interrompida, : Brasilia, 1964-1965* (2da edição, Editora Universidade de Brasilia, 2007, *Pesquisa, Revista da FAPESP*, São Paulo, 2008. (Original en français :) Université et dictature. Une Tragédie devenue Histoire. Brasilia 1964-1965, quarante ans après. Sur le livre de Roberto Salmeron, *A universidade interrompida : Brasilia, 1964-1965* (2e éd., 2007), inédit en français.

- [2008u]. Explorer la matière aujourd'hui. Eléments de réflexion philosophique, Contribution à la Conférence-débat par Michel Crozon et Michel Paty, dans le cycle « *Les secrets de la matière* », *Les Rendez-vous d'Archimède*, Université des Sciences et des Techniques de Lille 1, mardi 4 mars à 18h30, à paraître dans le livre.

A paraître.

Livres

Livres écrits en quête de maison d'édition ou en préparation (Recherche).

- *Einstein, les quanta et le réel. Critique et construction théorique.*

- *Matière et concepts. Constructions et transformations des concepts de la physique.*

- *Retour à d'Alembert.*

- *Einstein et Spinoza et autres essais sur Einstein.*

- *Empirisme et convention. Géométrie, physique et philosophie chez Henri Poincaré.*

- *Mathématisation et prédictivité.*

- *L'objet de la Relativité restreinte, invention et réception. Un problème d'épistémologie et d'histoire des sciences.*

- *L'Intelligibilité du domaine quantique. - The Intelligibility of the Quantum Domain.*

- *De la causalité à la nécessité. Science et immanence.*

- *La Connaissance scientifique comme pensée symbolique.*

- *La Raison créatrice et le problème des fondements de la connaissance.*

- *La Fonction de rationalité : genèse, diversité et unité.*

Livres édités

- [à paraître]. *Lumière et mouvement. L'extension du principe de relativité à l'optique* (éd.).

Articles à paraitre ou à compléter pour publication

- [AP,a]. Einstein's scientific style in the exploration of the quantum domain (a view on the relationship between theory and its object), Symposium « Einstein in Context » (Section « Einstein and the quantum revolution »), International Congress of History of Science, Beijing, july 2005. (Trad. en portugais) : [2005v].

- [AP,b]. Le concept d'état quantique : un nouveau regard sur d'anciens phénomènes, Epistémologiques (Philosophie, sciences, histoire), 3, 2003, à paraître. (Version en anglais :) [2003k].

- [AP,c]. Poincaré et la relativité des mouvements pour l'optique, Revue d'histoire des sciences, (n° spécial, Lumière et mouvement. L'extension du principe de relativité à l'optique, sous la direction de Michel Paty, à paraître.

- [AP,d]. Le coefficient de Fresnel et la vitesse de la lumière, in Revue d'histoire des sciences (n° spécial Lumière et mouvement. L'extension du principe de relativité à l'optique, sous la direction de Michel Paty, à paraître.

- [AP,e]. Einstein et le rôle des mathématiques en physique, inédit. à paraître. (trad. en espagnol : , et en portugais :)

- [AP,f]. The Today Understanding of the Concepts and Theory of Quantum Physics. A Philosophical Reflection. Encyclopedy of Life Support Systems, EOLSS.

- [AP,i]. Principes de la mécanique et analyse chez d'Alembert. Le point de vue conceptuel, à paraître.

- [AP,k]. L'origine hydrodynamique du principe de d'Alembert (en col. avec Gérard Grimberg), à paraître.

- [AP,l]. Préfaces, découverte et signification dans les Traités scientifiques de d'Alembert, à paraître.

- [AP,m]. Le développement des sciences exactes en France au XXe siècle (version longue, en français).

- [AP,n]. Ernst Mach, les concepts physiques et leur forme mathématique (Une minimisation de la portée des mathématiques en physique), Philosophia Scientae (Nancy), à paraître.

- [AP,o]. Théorie physique et mathématisation chez Pierre Duhem, pour le Colloque sur Pierre Duhem, Université de Bordeaux, 3 décembre 2003, en prép.

- [AP,p]. Portée épistémologique de la décohérence quantique, à paraître.

- [AP,q]. Pensée cosmologique et physique de l'élémentaire, à paraître.

- [AP,r]. Esthétique ou épistémologie ? L'invocation de l'harmonie dans les ressorts de l'invention scientifique, Colloque La Science, la philosophie et l'art, Universite de Douala, Cameroun, 7-13 mars 2000. A paraître.

- [AP,s]. Trois sens pour la notion de complétude en physique, Intervention à la réunion du CESEF, 28 octobre 1999 : «La complétude au sens des mathématiques versus la complétude au sens de la physique»,

- [AP,t]. Réflexions sur la philosophie de l'espace selon Gilles-G. Granger, et sur la physique contemporaine. En quel sens la pensée physique peut-elle dépasser le concept d'espace ? Exposé invité à la Journée Granger, Aix-en-Provence, vendred 7 avril 2000.

- [AP,u]. Criatividade científica e racionalidade, Congresso Nacional da ANPOF, Salvador (Ba, Brasil), 18-22 de outubro de - [à paraître,r]. Criatividade científica e racionalidade, Congresso Nacional da ANPOF, Salvador (Ba, Brasil), 18-22 de outubro de 2004.

- [AP,v]. The course of time. Physical and cosmological time, Workshop on Time Arrow-La Flèche du temps, Louvain-la-Neuve, 7-8 mai 2004.

- [AP,w]. Remarques sur les formes de la rationalité en histoire des sciences et des cultures, Congresso da Sociedade Brasileira de História da Ciência, Rio de Janeiro, 2002.

- [AP,x]. Structure du rationnel et grandeurs mathématiques dans la philosophie kantienne, Colloque « Kant et le calcul infinitésimal », Nancy, 2005.

- [AP,y]. E o racional estruturado matematicamente ? Le rationnel est-il structuré mathématiquement ? Is the rational mathematically structured ?, Conférence, Fourth Principia International Symposium on The philosophy of Donald Davidson and other topics,, Florianopolis, 8-11 août 2005..

- [AP,z]. Le matérialisme considéré du point de vue cosmologique et évolutionniste. – El materialismo considerado del punto de vista cosmológico y evolucionista, Conférence à la Jornada de estudios materialistas : « Introducción a la Historia del Materialismo », Archivo y Biblioteca-Chile en Suecia, Librería Latino americana, Stockholm (Suède), viernes 15 de junio de 2007. Texte à paraître.

- [AP,z1]. Introduction à trois textes d'Einstein sur la géométrie, la théorie physique et l'expérience, ou : Sur la décidabilité de la géométrie de l'espace physique : Einstein et le point de vue de Riemann. (Trad. en portug. :) [2005q]..

ANNEXE A. PROJETS DE REVUE ET DE COLLECTION[xc].

Revue *Epistémologiques (Philosophie, sciences, histoire. Philosophy, science, history)*,

EDP-Sciences, Paris-Discurso, São Paulo

Déclaration d'orientation.

La revue veut être un lieu de réflexion sur les relations qu'entretiennent les sciences et la philosophie. Leur prise en compte est devenue une exigence particulière de notre temps, qui s'impose comme un fait culturel et un élément de la conjoncture théorique.

Toute l'histoire des sciences et de la philosophie témoigne, certes, d'un tel lien étroit. Mais le développement exceptionnel de la pensée scientifique et sa pénétration dans tous les secteurs de la société demandent de formuler et d'analyser les nouvelles questions qui font sens. Si des scientifiques - et parmi les plus grands - se sont parfois déjà lancés dans l'entreprise, il s'en faut que tous aient reçu avec leur formation, ou acquis à travers leur pratique, les éléments d'une véritable culture philosophique et historique indispensables pour un tel projet. Les philosophes, quant à eux, manquent souvent d'une culture scientifique ou, du moins, des concepts qui leur permettraient de contribuer à des analyses pertinentes ou de discerner les virtualités philosophiques des sciences contemporaines.

Le manque de recul critique et de véritable dialogue entre ces différents domaines de la pensée entraînent le développement de réductionnismes, soit dans le sens d'une valorisation excessive des seuls résultats positifs d'une discipline des sciences « dures », soit dans celui d'un relativisme extrême (psychologisme, sociologisme), niant la spécificité du fait scientifique.

Il importe donc de développer les nouvelles formes philosophiques que réclament les connaissances scientifiques de notre temps ; la philosophie renouerait ainsi avec sa grande tradition d'ouverture sur la science, retrouvant les liens anciens sous des figures nouvelles, adaptées, et reprendrait toute la place qui lui revient dans le mouvement de la pensée scientifique.

Considéré de cette manière, le rapport de la philosophie et des sciences implique un appel particulier à l'histoire des sciences, qui prémunit chacune d'elles contre une vue purement formaliste ou pragmatique. En retour, la dimension philosophique et la préoccupation pour les contenus conceptuels préservent l'histoire des sciences des tentations historiciste ou positiviste. Une telle approche est d'ailleurs propre à mettre les sciences, dans leur signification essentielle, à la portée de non spécialistes, redonnant sens aux exigences philosophiques et politiques de la vulgarisation et de la pédagogie.

La revue fonde, dans cette perspective, sa réflexion sur les problématiques

philosophiques à l'oeuvre dans les sciences mêmes. Ces problématiques concernent aussi bien les processus d'invention et de développement des connaissances scientifiques que leur assimilation et leur interprétation. Elles concernent également l'activité scientifique en tant que pratique sociale, les applications de ces connaissances et leurs incidences éthiques et politiques.

La revue publie des analyses philosophiques, logiques, historiques, sociologiques, politiques, sur les sciences, accessibles aux non-spécialistes. Elle accueille également des contributions originales proposées par des scientifiques à partir de leur expérience.

Pablo MARICONDA, Michel PATY et Jean-Jacques SZCZECINIARZ

rédacteurs en chef

(Janvier 2000.)

*

Collection « Penser avec les sciences »

EDP-Sciences, Paris

Dirigée par Michel Paty et Jean-Jacques Szczeciniarz

La collection « Penser avec les sciences » veut renouer avec la grande tradition d'ouverture philosophique sur la science, en publiant des travaux de philosophie, d'épistémologie et d'histoire des sciences, ainsi que des essais critiques sur les sciences contemporaines. Les études concerneront les connaissances scientifiques (du présent comme du passé) dans leur diversité historique, géographique, culturelle et sociale. Elle prendront en compte aussi bien les contenus scientifiques et les élaborations conceptuelles que les réalisations techniques et les rapports aux contextes d'ensemble, y compris politiques.

D'une manière générale, les textes publiés dans la collection considèrent le fait scientifique dans toute sa spécificité, contre les tentations du relativisme (qui ramène la science à une succession d'opinions) et du réductionnisme (qui coupe la science de toutes ses racines). Contribuer par cette réflexion critique à la culture scientifique, la faire comprendre et la diffuser, constitue l'un des objectifs de la collection. Elle veut répondre, par là, à l'une des exigences intellectuelles les plus urgentes de notre temps.

La collection s'adresse à un public cultivé : chercheurs en sciences exactes et en sciences humaines, enseignants universitaires et du second degré, ingénieurs, médecins, étudiants des second et troisième cycles universitaires,…

Les premiers titres que nous prévoyons présentent des textes d'auteurs, philosophes, épistémologues et historiens des sciences, qui s'inscrivent dans ce que l'on peut appeler la « tradition française d'épistémologie et de philosophie des sciences », dans la lignée des H. Poincaré, P. Duhem, E. Meyerson, A. Koyré, G. Bachelard, H. Metzger, G. Canguilhem, J. Cavaillès, A. Lautmann, J.T. Desanti, J. Merleau-Ponty, J. Vuillemin, G.-G. Granger … Cette « tradition », très vivante présentement, s'est également nourrie d'autres apports, analytiques, historiques ou méthodologiques, et se tient très près des problèmes actuels des sciences exactes, mathématiques, physico-chimiques et astronomiques, biologiques, cosmologiques, ainsi que des sciences sociales.

Outre une reprise thématique de textes significatifs en français, peu connus et dispersés dans des publications diverses, de personnalités aussi prestigieuses que Jacques Merleau-Ponty, Gilles-Gaston Granger, Jules Vuillemin et d'autres, nous désirons publier des contributions d'auteurs actuellement très actifs dans le domaine, dont la pensée se tient à la jonction de la philosophie, des sciences et de l'histoire, dans l'esprit indiqué plus haut. S'y ajouteront quelques volumes collectifs sur un thème scientifique ou conceptuel en renouvellement, ainsi que des traductions d'ouvrages significatifs publiés dans d'autres langues.

Nous publierons également des textes d'intérêt majeur, de nature scientifique ou épistémologique, d'auteurs plus anciens, présentés et annotés par des spécialistes.

L'ensemble des ouvrages de la collection devrait constituer une référence essentielle aux niveaux national et international en ce qui concerne les études et la réflexion sur les sciences.

(janvier 2002)

M.P., *Portrait de Blaise Cendrars au chapeau*, 1997.

ANNEXE B. REPRISE DE LA *NOTICE DES TITRES ET TRAVAUX* DE 1983.

J'ai cru bon de reproduire la plus grande partie de cette *Notice* de 1983, dans la mesure où elle détaille mes travaux en physique de la première période de ma carrière de chercheur. (J'ai laissé de coté les parties 1.2 et 4.2 à 4.6, dont les éléments sont repris dans le rapport principal, en III et V).

Recherches sur la réalité physique

Notice des titres et travaux

Avril 1983

Michel PATY

Maître de recherches au CNRS

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.
4. Eléments d'information.- 4.1. Enseignement, information scientifique et autres activités. (- 4.2. Direction de thèses.- 4.3. Participation à des conférences. - 4.4. Cours, séminaires, conférences.- 4.5. Participation à des émissions de radio et de télévision.- 4.6. Publications.)

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[57] 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 $\pi^0\pi^0$...

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).

---

[57] J'étais alors Maître de recherche, ce qui correspond aujourd'hui à Directeur de recherche de 2e classe ; Directeur de recherche correspondait alors à ce qui est aujourd'hui Directeur de recherche de 1e classe.

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 $\bar{n}p$ 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 siecle), 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 compta 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 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.[58] 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.

[58] Je n'ai changé de section d'appartenance qu'une dizaine d'années plus tard.

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

2.1. PREMIERES RECHERCHES SUR LES NEUTRINOS AUPRES DU 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, où elles etaient 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 – qui permettait de les identifier 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.

2.1.2. Etudes préliminaires sur les neutrinos

Je commençai donc mes recherche à Paris en 1961 - avec de fréquents séjours au CERN - 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 Wolgang 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], et 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 Meer[59], permettant d'aboutir à des flux correspondant à des interactions décelables (voir 2.1.6). Ce travail - auquel s'ajouta celui décrit en 2.1.3 - me valut d'être embauché au CERN au ler 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 l m 15 du CERN, toutes deux emplies de Fréon CF_3Br). 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 $(4.8 \pm 0.8) \times 10^{-30}$ 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 ([1962a]) et d'un article ([1963a]). Je l'ai prolongé plus tard, en 1965, en dirigeant le travail de recherche d'un étudiant de Valence (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 CF_3Br de longueur de radiation 11 cm. On a exploré essentiellement les systèmes

[59] 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 telles que le refroidissement stochastique d'antiprotons, qui permit la production de bosons intermédiaires en 1981.

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, Γ < 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≈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, Genève - Univ. Coll. London (UK) - Rutherford Laboratory, Chilton, (UK) - 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-méme 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/c^2, 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/c^2. (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 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, ainsi que Victor Weisskopf, alors directeur du CERN et Guy von Dardel.

Je voudrais mentionner quelques uns des collègues, avec qui j'ai travaillé ou échangé des idées, à propos de ces expériences et de recherches connexes : Harry Bingham, Herbert Burmeister, Donald Cundy, Carlo Franzinetti, R. Møllerud, Gerald Myatt, Milan Nikoli%c, Agnès Orkin-Lecourtois, Roberto Salmeron, Hans Sletten, Karl Soop, Klaus Schultze, Robert Stump, W. Venus, Robert G. P. Voss, Hajime Yoshiki, ainsi que Colin Ramm qui dirigeait la division dont nous dépendions.

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 découverte[60].

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 avions 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

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

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)[61]. 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 incomplète[62].

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 mineure[63], à être le plus exact possible. Je concluai 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, sans le poids d'une théorie particulièrement convaincante comme ce serait le cas plusieurs années après avec la théorie électrofaible[64].

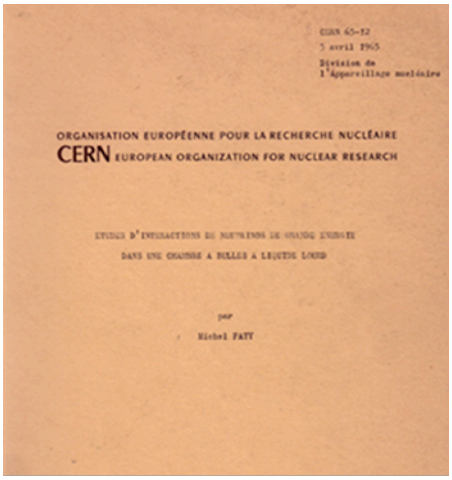
---

61 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.

62 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 phus grand volume de détection ont permis de conclure, ce que je ne pouvais pas à l'époque.

63 En effet, les « évidences expérimentales » indiquaient l'absence de courants neutres pour des réactions bien observables, comme la désintégration des mésons étranges K^o : 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).

64 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.



CERN 65-32
5 avril 1965
Division de
l'Appareillage nucléaire

ORGANISATION EUROPÉENNE POUR LA RECHERCHE NUCLÉAIRE
CERN EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH

ETUDES D'INTERACTIONS DE NEUTRINOS DE GRAND ENERGIE
DANS UNE CHAMBRE A BULLES A LIQUIDE LOURD

par
Michel PATY

CERN 65-12
5 avril 1965
Division de
l'Appareillage nucléaire

ORGANISATION EUROPÉENNE POUR LA RECHERCHE NUCLÉAIRE
CERN EUROPEAN ORGANIZATION FOR NUCLEAR RESEARCH

ETUDES D'INTERACTIONS DE NEUTRINOS DE GRANDE ENERGIE
DANS UNE CHAMBRE A BULLES A LIQUIDE LOURD

par

Michel PATY

- 93-

IV. LES COURANTS LEPTONIQUES NEUTRES

Expérimentalement, les courants leptoniques neutres n'ont jamais été mis en évidence ; on a donc pu supposer qu'ils n'apparaissent pas dans l'expression générale du courant faible. En particulier, l'absence des désintégrations $K \to \pi + e^+ + e^-$ et $K \to \pi + \mu^+ + \mu^-$ était en accord avec cette idée. Cependant il n'y a rien à priori pour interdire la présence de ces courants neutres : Bludman[7*)] par exemple émettant l'idée que le lagrangien d'interactions faibles est formé de deux parties : les courants chargés ordinaires et des courants neutres "symétriques" de types $\nu\bar{\nu}$, $\mu\bar{\mu}$, $e\bar{e}$, $p\bar{p}$, $n\bar{n}$, $\Lambda\bar{\Lambda}$, évite la difficulté de l'absence de ces désintégrations de K puisqu'elles ne sont pas de cette symétrie.

Si ces courants neutres existent, on doit pouvoir les observer dans notre expérience; ils apparaîtront dans les réactions suivantes :

- 94 -

$$\nu + p \rightarrow \nu + p$$
$$\nu + N \rightarrow \nu + N' \ (\pi \text{ etc.})$$

avec en principe des sections efficaces comparables aux processus chargés normaux, c'est-à-dire de l'ordre de 10^{-38} cm^{2} [80-82].

Ces interactions seraient dans ce cas classées comme étoiles de neutrons d'après la convention que nous avons faite. Il est donc difficile de donner une réponse précise, sinon par la négative si le taux de ces étoiles est faible.

Pour ce qui est des protons de recul seuls, qui pourraient être produits dans la réaction :

$$\nu + p \rightarrow \nu + p,$$

nous sommes obligés de faire une coupure en énergie du proton et de comparer les taux des deux processus donnant $\mu^- + p$ et $\nu + p$ où l'énergie cinétique du p est supérieure à 200 MeV, à cause de la forte proportion de petits neutrons attendus en dessous de cette région d'énergie [correspondant à un $q^2 \leqslant .400$ (GeV/c)^2].

On observe 80 "$\mu^- np$" pour 16 "np" (incluant l'efficacité de détection de ces protons seuls); le rapport des sections efficaces :

$$\frac{\nu + p \rightarrow \nu + p}{\nu + n \rightarrow \mu^- + p}$$

est donc inférieure à 20 ± 5%.

Pour les processus pioniques, c'est-à-dire la mesure du rapport :

$$\frac{\nu + N_1 \rightarrow \nu + (N_2 + \pi + \ldots)}{\nu + N_1 \rightarrow \mu^- + (N_2 + \pi + \ldots)}$$

on se restreint aux cas $(N_2 + \pi + \ldots)$ d'énergie supérieure à 1 GeV ($E_\nu - E_\mu > 1$ GeV pour le courant chargé). Pour 113 événements avec μ^- on en observe 14 sans lepton, d'où une limite supérieure du rapport : 12.4 ± 3.5%.

Ces chiffres constituent une limite supérieure de la contribution des courants neutres dans les interactions de neutrinos : si ceux-ci existent, leurs sections efficaces doivent être nettement plus faibles que celles des courants chargés.

- 97 -

CONCLUSION

(...)

Les conclusions que nous avons tirées de l'analyse de ces événements sont les suivantes : tout d'abord, l'observation, sur 447 événements contenant un lepton négatif, de seulement 5 événements à électron, confirme la différence qui existe entre les deux neutrinos, couplés l'un au muon, l'autre à l'électron avec une limite inférieure de conservation de 95%. On peut poser une limite supérieure à la non conservation du nombre leptonique : 5 ± 1% pour les processus à $\Delta\mathcal{L} = -2$, moins de 20 ± 5% pour ceux à $\Delta\mathcal{L} = -1$, enfin 20 ± 5% est également une limite supérieure de la présence de courants leptoniques neutres. Les hypothèses "neutrino-flip" et "neutrinos étranges" ne sont pas confirmées par l'expérience.

L'analyse des 123 événements attribués au processus élastique permet de penser que les hypothèses couramment admises aux faibles transferts, telles que : l'interaction universelle de Fermi, l'universalité e - μ, la conservation du courant vectoriel, sont encore valables

(...)

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 avions 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 1'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'accentuer 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 Brésil[65]. 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 1'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 1982[66].

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

---

[65] Paty [1972f, 1975s].

[66] 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 10.10.1983. Avec Rémy Lestienne et d'autres collègues, anciens coopérants au Brésil, nous avons fondé vers 1969 un Comité de solidarité France-Brésil et de secours aux prisonniers politiques brésiliens, qui perdura de nombreuses années ; et je participai aussi au Comité France-Amérique latine, actif (notamment pour l'accueil des exilés politiques) au niveau national et dans les grandes villes de province, dont Strasbourg (le coup d'Etat militaire dirigé par le ggénéral Pinochet qui renversa le gouvernement de Salvador Allende eut lieu en 1973). (Note ajoutée en 2003).

1'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 reconvertir 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 3e cycle, Roger Arnold et Jean-Louis Riester. D'octobre 1966 à février 1967, je séjournai au laboratoire de physique de l'Ecole polytechnique à Paris pour participer à l'expérience $\eta°$ (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 avions pu adapter la chaîne de programmes d'analyse, et l'équipe de physiciens s'étoffa 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[67]. Des étudiants de 3e 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 [68]. Par ailleurs, nous avions 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[69]. 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

---

[67] Il se dirigea ensuite vers les problèmes de l'énergie solaire au Laboratoire de physique de l'Ecole Polytechnique, et retourna plus tard à Barcelone. (Note ajoutée en 2003).

[68] Il se reconvertit plus tard à l'histoire des sciences, rejoignant l'Equipe REHSEIS (Note ajoutée en 2003).

[69] « Cadres A » , à l'époque : maître ou directeur de recherche, maître de conférence ou professeur (Note ajoutée en 2003).

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

- Etude des modes neutres (par détection des γ et reconstruction des π^0) :
  $R_1 = \Gamma(\eta^0 \rightarrow 3\pi^0) / \Gamma(\eta^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0) = 1.50 \,^{+0.15}_{-0.29}$
  $R_2 = \Gamma(\eta^0 \rightarrow \gamma) / \Gamma(\eta^0 \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0) = 1.72 \pm 0.25$

II 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 $\Gamma(\eta^0 \rightarrow$ 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 3π, 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 3e 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 $K^+\pi^+\pi^-$, $K^+\pi^+\pi^-\pi^0$, $K^0\pi^+\pi^+\pi^-$, $K^+\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-$ et $K^0\pi^+\pi^+\pi^-\pi^0$. 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' ; 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 $J^P = 0^-, 1^+, ...$

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 3e 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 3e cycle de Robert Blind (travail effectué à Strasbourg seulement, en 1973). (Réf. [1973c ; 1974a]).

2.4.3.Etude de l'échange de charge $K^+n \rightarrow K^0p$ a 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 + 13 μb par nucléon, en accord avec les prédictions de SU(3). La section efficace

différentielle en t a été comparée à celle de $K^- p \rightarrow \%K^0 n$ 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 ρ (1700) sont inférieures, respectivement, à 70 et à 36 μb/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, Strabourg – 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 ρ(1700) par des π^+ de 11.7 GeV/c.

L'expérience décrite en 2-4-4 a fourni des interactions incohérentes sur noyaux, dont 1'analyse a permis de déceler la production des résonances B(1235) et ρ(1700) dont on a pu déterminer les sections efficaces. Ce travail, effectué seulement au CRN, Strasbourg, en 1972-73, a été 1'objet de la thèse de 3e 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 1'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 : $a_0^0 = 0.32 \pm 0.06\ m_\pi^{-1}$ (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.Fournier. (Réf. : [1975c,d]).

2.4.7.Etude de la réaction inclusive K^+ + noyau $\rightarrow K^0$+ … 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 3e 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 %pp et %np 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)[70], 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[71]. 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, Pierre 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

---

[70] Alors récemment constitué, et Département du CNRS.

[71] Le CRN avait trois sous-directeurs, un par sous-discipline : physique des hautes énergies, physique nucléaire, chimie nucléaire. (Note ajoutée en 2003).

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.

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 voeux 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 causes[72]. 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

[72] Pour autant, les travaux de recherche se poursuivirent normalement.

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 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.Degrange 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 $(0.271 \pm 0.02).E_{\%\nu}.10^{-38}$ 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 $\%\nu_\mu n\ \pi^+$, $\%\nu_\mu n \rightarrow \%\nu_\mu n\ \pi^0$ et $\%\nu_\mu p\ \pi^-$). 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 3e 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 μb, 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-méme, 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 requérait 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 « émulsionistes » 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 μm, 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 Fahrad 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 ($\%\nu_\mu e^- \rightarrow \%\nu_\mu e^-$), 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'identifeur 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 CERN[73], à l'aide du disposiitif « 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 ($E_{visible}$ > 10 GeV), réparties en 18 événements à courant chargé ν_μ ou $\%\nu_\mu$, 5.1 à courant neutre, et 8.9 ν_ε ou $\%\nu_\varepsilon$ à courant chargé. Après soustraction de toutes les sources connues, il reste un excès d'événements ν_ε 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]).

[73] 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. 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 3e 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].

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 an 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[74]. 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 aigüs 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

[74] La ministre était Mme Alice Saunier-Seité. (Note ajoutée en 2003).

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 devions, 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 XVIIIe 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 Monsonego, 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'ëtat 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 reconvertir 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 parait 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)[75].

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 : XVIIIe SIECLE, D'ALEMBERT (TRAVAUX EFFECTUES DE 1969 A 1977).

Je reviens à mes premières recherches sur le XVIIIe 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 ([1977l] : 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-mème en anglais, mais le labeur que cela représente (et six ans après) me fait hésiter. Je voudrais signaler ici quelques unes des 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.

---

[75] Mario Bunge a magnifiquement payé d'exemple, comme on sait. Son estime et son amitié m'ont été précieuses. (Note ajoutée en 2003).

J'ai également publié plusieurs articles sur ce sujet et sur des questions annexes (Science et philosophie au XVIIIe 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[76].

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'expliciter, 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]).

---

[76] Ces textes ont été publiés par la suite. Voir : [1989d ; 1984b] (Note ajoutée en 2003).

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

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'indiscernabilïté 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. 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 parait 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 parait 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 ineterdisciplinaire 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 mai 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) [77].

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 XIXe siècle. Ce projet s'inscrit dans un programme sur l'étude de la « science impériale », sur les modalités du transfert (ou non transfert), au XIXe siècle, du savoir scientifique des puissances coloniales aux pays dépendants. Ce sujet a, évidemment, des prolongements contemporains.

---

[77] Le projet d'implantation à La Villette n'a pas eu de suite, mais la création d'une équipe de recherche du CNRS a été effective dès 1983 : l'Equipe REHSEIS, implantée quelque temps plus tard à l'Université Paris 7, et dont l'histoire se recoupe avec celle rapportée dans le texte *Réalité et intelligibilité* (Note ajoutée en 2003).

4. ELEMENTS D'INFORMATION

4.1. ENSEIGNEMENT, INFORMATIONS SCIENTIFIQUE T 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 (divulgation, ou « vulgarisation »). Je l'ai fait à la façon qui me parait 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.

(Les autres éléments d'informations sont intégrés au texte principal de 2003).

M.P., *Signe de tête*, 1996.

ANNEXE C. FAC-SIMILE DU RAPPORT SUR LA CARRIERE SCIENTIFIQUE DE M.P. AU MOMENT DE SON CHANGEMENT DE SECTION DU CNRS (EN 1991)[xcii]

Rapport établi par le Président de la Section de « Physique corpusculaire » (02) du Comité National du CNRS à l'intention de la Section « Pensée philosophique, science des textes, création artistique, scientifique et technique » (35).

Rapport sur la carrière scientifique

de Monsieur Michel Paty

Directeur de Recherche de 2ème classe au CNRS

Rapport établi à la demande de la section 02 (session de printemps 1991), à l'intention de la Commission de philosophie.

Michel Paty, né en 1938, après des études de mathématiques et de physique, a poursuivi à partir de 1961 une carrière de chercheur, successivement au Collège de France, au CERN, puis à Strasbourg, au CRN.

Une bonne part de ses recherches a été consacrée aux interactions du neutrino, ce qui s'est révélé être un choix heureux, les neutrinos ayant été parmi les principaux outils du renouvellement de la problématique tant théorique qu'expérimentale de la physique des particules. On lui doit, en 1965, la détermination d'une limite inférieure à la masse des bosons faibles, une prédiction correcte de l'amplitude des courants neutres (mis en évidence 10 ans plus tard) et l'étude détaillée de diverses réactions d'interaction faible : production de mésons π, de particules étranges.

Il a en outre contribué, au sein de collaborations de chambre à bulles, à l'étude des interactions électromagnétiques (notamment la production et la désintégration des η_0 selon divers modes).

En ce qui concerne les interactions fortes, il a étudié les collisions de π et de K avec des noyaux, et procédé à une analyse en déphasage de la voie $\pi^0\pi^0$. Enfin, il a participé à la première mise en évidence de trajectoires de particules charmées grâce à un détecteur hybride.

La situation de son laboratoire l'a amené très vite à prendre des responsabilités et il a entrepris, à Strasbourg, la mise en place d'une équipe de recherche spécialisée dans les clichés de chambres à bulles à liquides lourds. Il a aussi assuré la sous-direction de son laboratoire. Il a ainsi dirigé une vingtaine de thèses, dont 7 de doctorat d'Etat, et beaucoup de physiciens qu'il a formés ont acquis une excellente réputation internationale. Il a publié un grand nombre d'articles dans des revues de premier plan.

Rappelons qu'il a, en outre, présidé la section 06 du Comité National (Physique nucléaire et corpusculaire) entre 1980 et 1984. Il est certain que, s'il avait poursuivi sa carrière en physique des particules, il aurait été un candidat de première valeur pour le grade de DR1.

Dans ses publications d'ordre philosophique ou historique consacrées à la physique, Michel Paty a toujours fait preuve d'une remarquable compréhension des divers aspects, théoriques et expérimentaux, de l'activité scientifique, et d'une évaluation pertinente de l'importance des difficultés et des questions non résolues.

Nous souhaitons que, pour la suite de sa carrière dans le domaine de la philosophie, il soit largement tenu compte de l'excellente qualité de sa carrière scientifique.

Paris, le 25 juillet 1991

M. Crozon

Michel CROZON

ANNEXE D. ATTRIBUTION DE L'EMERITAT DU CNRS

CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

SL/BSUIC-CH n° 33018

Paris, le 05 FEV. 2003

Département des sciences de l'homme et de la société
Le directeur

Dossier suivi par Sandrine Launey
Suivi des Unités et des Instances Consultatives
Tél. 01 44 96 43 03
Fax 01 44 96 49 21
e-mail : sandrine.launey@cnrs-dir.fr

JD

Monsieur Michel PATY
s/c de Madame Karine CHEMLA
UMR 7596 - REHSEIS
Université Denis Diderot (Paris VII)
2 place Jussieu
75251 PARIS CEDEX 05

Cher Collègue,

J'ai le plaisir de vous informer que le Conseil d'Administration du CNRS, lors de sa séance du 3 décembre 2002 a décidé de vous conférer le titre de directeur de recherche émérite.

Cette distinction vous permettra de poursuivre votre activité scientifique au sein de votre unité de recherche, notamment de participer à des jurys de thèse.

A titre personnel, je me félicite de cette décision qui donne à notre organisme la possibilité de bénéficier, durant les cinq prochaines années, des compétences qui vous ont valu votre notoriété au plan national et international.

Je souhaite que ce prolongement de votre carrière vous apporte des satisfactions renouvelées et je vous remercie de poursuivre votre action en faveur d'une recherche de haut niveau qui est le gage du rayonnement et de la pérennité du CNRS.

Je vous prie de croire, Cher Collègue, à l'expression de mes salutations les plus cordiales.

Jean-Marie HOMBERT

Copie : Monsieur Pierre DOUCELANCE, Délégué Régional, Délégation Paris B

3, RUE MICHEL-ANGE 75794 PARIS CEDEX 16 - TÉL. 01 44 96 41 00 - TÉLÉCOPIE 01 44 96 49 00
Courrier électronique : shs-directeur@cnrs-dir.fr

ANNEXE E. HOMMAGE DE LA REVUE DE PHILOSOPHIE BRESILIENNE *SCIENTIÆ STUDIA* (1,1, JAN.-MAR. 2003).

Au moment de remettre ce document à l'impression, je reçois le premier numéro de la revue *Scientiæ Studia*, revue consacrée à la philosophie des sciences, et animée, au Département de Philosophie de l'Université de São Paulo, par Pablo Mariconda. L'éditorial rend hommage à mon travail en philosophie des sciences dans les relations entre le Brésil et la France. Par-delà l'éloge, certes excessif, c'est l'intention qui a été saisie, et ce témoignage amical est ainsi venu à point pour clôturer cet exposé de mon travail.

Editorial

Com este número tem início a publicação de **Scientiæ studia**, periódico trimestral dedicado aos estudos filosóficos e históricos sobre a ciência, entendida na acepção ampla de ciência exata, natural e humana, e sobre o impacto da aplicação técnica e tecnológica no conjunto da cultura e da sociedade. Nesse sentido, **Scientiæ studia** está aberta a contribuições que visem entender a ciência como manifestação da cultura e expressão do estágio atual do processo civilizatório, analisando os aspectos internos que podem caracterizar racional e autonomamente a ciência e detendo-se também no conjunto dos valores sociais que dão sustentação às práticas científicas e tecnológicas, nas quais se põe a questão da responsabilidade ética e social dos cientistas.

O número se inicia com o texto do Professor Michel Paty que até 2001 foi diretor científico da Equipe REHSEIS (Recherches Epistémologiques et Historiques sur les Sciences Exactes et sur les Institutions Scientifiques) do CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique), vinculada ao DEA d'Epistémologie et Histoire des Sciences da Université de Paris 7 - Denis Diderot. Todos os demais trabalhos publicados são de professores e pesquisadores que realizaram estágios de doutorado-sanduíche, de pós-doutorado ou de pesquisa junto à Equipe REHSEIS. **Scientiæ studia** presta, assim, uma homenagem a Michel Paty, inestimável mestre e colaborador entusiasta, que durante os últimos quinze anos teve um papel decisivo para a consolidação das áreas de filosofia e história da ciência no Brasil. De março de 1989 a fevereiro de 1991, ocupou a cátedra francesa junto ao Departamento de Filosofia da Universidade de São Paulo, período no qual estreitou os laços de amizade e aprofundou seu sincero interesse pelo nosso país e por nossa cultura. De volta à França, Michel Paty ocupou, por suas ações e empreendimento, o centro das relações entre a França e o Brasil, principalmente em suas áreas de atuação: a filosofia e a história da ciência. Acolheu, no seio da Equipe REHSEIS, sistemática e ininterruptamente estudantes, pesquisadores e professores brasileiros, nos seus respectivos estágios de pesquisa, sempre com generosidade e dedicação, firmemente ancoradas no valor filosófico da promoção da amizade entre os homens. Sua atuação, na orientação de teses e na discussão de pesquisas, foi decisiva para que ele ocupasse um lugar privilegiado como difusor, no meio acadêmico brasileiro, de um estilo de pesquisa acadêmica que valoriza a reflexão filosófica rigorosa sobre a ciência profundamente enraizada no estudo de seu desenvolvimento histórico. Os textos aqui publicados possuem, por assim dizer, esse estilo híbrido, essa mescla indistinta, de filosofia e de história e, nesse sentido, permitem apreciar a influência entre nós do estilo de reflexão sobre a ciência praticado por Michel Paty.

É, portanto, com imensa satisfação que damos a público esta nova revista, na esperança de que **Scientiæ studia** contribua para a divulgação e o aprofundamento da compreensão filosófica e histórica da ciência, permitindo ampliar os laços acadêmicos entre pesquisadores, grupos de pesquisa e professores universitários interessados na reflexão crítica sobre o pensamento científico.

PABLO RUBÉN MARICONDA
editor responsável

ANNEXE F. COLLOQUE EN HOMMAGE A M.P, BRESIL, 2003

FILOSOFIA, CIENCIAS E HISTORIA:

UM COLOQUIO DEDICADO A MICHEL PATY POR OCASIÃO DOS 40 ANOS DE SUA COLABORAÇÃO COM O BRASIL

24 de novembro, Instituto de Estudos Avançados (IEA)
da Universidade de São Paulo (USP).

Café de Recepção: 8:30hs

Abertura: 9:00hs

Alfredo Bosi (IEA). – Repr do Reitor da USP. – Marilena Chaui (Dep Fil, USP) – Osvaldo Porchat (Dep Fil, USP) – Rémy Lestienne (Attaché scientifique Embaixada da França, Brasilia) – E. Rebaud (Consulado da França, São Paulo).- Leitura de mensagens.

Sessão 1: 9:30hs – 11:00hs

José Leite Lopes – Michel Paty e o Seminário sobre os Fundamentos da Ciência de Strasbourg
Roberto Salmeron – Matéria, Mitologia Pensamento e Abstração
Fernando de Souza Barros – Censura Científica: A Quem Interessa?
Amélia Hamburger – Informação da Medida

Sessão 2: 11:00hs – 12:30hs

Newton da Costa e Décio Krause – Lógica Paraconsistente e Física
Francisco Dória – Why is P vs. NP so difficult?
Pablo Mariconda – Razão e Experiência em Galileu
*(**Alberto Cupani*** – Compreendendo Melhor a Racionalidade da Ciência.)

Almoço: 12:30hs – 14:00hs

Sessão 3: 14:00hs – 16:00hs

Heloísa M. Bertol Domingues – Da Razão do Poder ao Poder da Razão: O Lugar Social das Ciências no Brasil (1946-1950)
José Jerônimo de Alencar Alves - Influências de Kuhn, Foucault e Latour na Historiografia sobre as Ciências no Brasil.
Fernando Camelier – As Dificuldades Encontradas pela Teoria da Gravitação de Newton
*(**Katya M. Aurani*** – O Calor e o Potencial Mecânico dos Corpos Segundo Boltzmann em 1871)
Irinéa de Lourdes Batista – Partículas Estranhas e a Teoria Universal de Fermi
Lelita Oliveira Benoit – Em Direção ao Paradigma Biológico da 'Física Social'

Café: 16:00hs – 16:15hs

Sessão 4: 16:15hs – 17:15hs

Maria Laura Mousinho Leite Lopes e Suzana de Souza Barros – A Educação na Era da Informação: o Desafio da Alfabetização Científica e Matemática para este Milênio.
Maurício Pietrocola – A estruturação matemática das teorias física: de obstáculo epistemológico a obstáculo pedagógico.
Robinson Moreira Tenório – O valor da Informação.

Sessão 5: 17:15hs – 18:35hs

Luiz Henrique de Araújo Dutra – Claude Bernard sobre Fenômenos, Propriedades e Causas: Um Modelo do Progresso da Ciência.
Antônio Augusto Passos Videira – Critérios e Mecanismos para a Transmissão de Teorias Científicas e para a Consolidação de Comunidades Científicas na América do Sul na Segunda Metade do Século XX: o Caso de Guido Beck
Osvaldo Pessoa Jr – As Descobertas do Aspecto Granular da Luz no Início do Século XX
Silvio Chibeni – A logico-conceptual analysis of the Einstein-Podolsky-Rosen argument

---

Café: 18:35hs – 18:50hs

Sessão 6: 18:50hs – 20:10hs
Shozo Motoyama – Piratas ou caçadores de cogumelos
Gerard Grimberg – Michel Paty, d'Alembert e o Brasil
Wilton Barroso - D'Alembert e a crítica da metafísica ou Comentários sobre um aspecto interessante da tese de doutorado em Filosofia de Michel Paty.
Olival Freire Jr – Michel Paty e o Brasil: Quatro Décadas de Amizade

---

Michel Paty - Agradecimentos. Sobre a reflexividade da ciência e o Brasil

---

Encerramento: 20:30
Coquetel oferecido pela Embaixada da França.

***

ANNEXE G. ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS

ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS EXACTAS, FISICAS Y NATURALES

La Academia atendiendo a la ilustración, méritos científicos y demás circunstancias recomendables que adistinguen a

Don Michel Henri Lucien Georges Paty

ha tenido a bien elegirlo, la sesión verificada el día 15 de marzo de 2007

MIEMBRO CORRESPONDIENTE

y para que conste, se le expide este Diploma, firmado por el Presidente, refrendado por el Secretario y autorizado con el Sello de la Academia.

Dado en Bogotá, D. C. [illegible]

El Presidente

El Secretario

ANNEXE H. COLLOQUE DE TUNIS, NOV. 2007

L'UR Philosophie et Science de l'Université de Tunis

Organise

Un Colloque International

les 22, 23 et 24 novembre 2007

à la faculté des sciences humaines,

9 avril 1007 - Tunis

"Michel Paty philosophe et historien des sciences"

Programme

Le comité d'organisation

*Mme Angèle Kremer Marietti : Membre d'honneur
*Abdelkader BACHTA : Responsable de l'UR et président du colloque.
* **Salah Moshah :** Vice président : Directeur de la section de philosophie.
* **Taoufic Chérif :** Vice président : Secrétaire général de la société Tunisienne de philosophie.
* **Ridha Azzouz :** Vice président : Membre de l'UR

Membres

* **Ali Melki :** Membre de l'unité.
* **Med Salah Ayari :** Membre de l'unité.
* **Mohktar B. Ammar :** Membre de l'unité.
* **B. Saïd Safia :** Membre de l'unité.
* **Zoubeida Zine :** Membre de l'unité.

Le programme

Mercredi 21novembre 2007

Jeudi 22 novembre 2007

Matin

Accueil des participants.

9h00 - 10h00 : ouverture du colloque.
- Allocution du professeur **A.BACHTA.**
- Allocution de **M.le doyen.**
- Allocution de **Mme Angèle Kremer Marietti**

Pause café.

10h00 à 13h00 : Première séance.
Président prof. **Salah Moshah.**

10h00 - 10h30 : Prof. **J. J Szczeciniars :** Remarques sur la quantification : Analyse de travaux récents.

11h00 -11h30 : Prof. **Abdelkader BACHTA :** Paty et la physique du XXe siècle.

Discussion

L'après - midi

Président, prof. **Ridha Azzouz.**
15h00 - 15h30 : Prof. **Salem Yafout :** A propos des crises en sciences - L'exemple de Paty.

15h30 - 16h00 : Prof. **Hamdi Mlika :** La réponse de Paty à la question de la nature des relations entre mathématique et réalité.

16h00 - 16h30 : Pause café.

16h30 - 17h00 : Prof. J. **Aimé Safou :** Michel Paty et la philosophie des mathématiques de Poincaré.

17h00 - 17h30 : Mohamed Salah Ayari:
Le mécanique quantique et son objet dans le réalisme physique de Michel Paty

Discussion

Vendredi 23 novembre 2007

Président, prof

18h00 - 10h30 : Prof. **Angèle Kremer Marietti :** Paty, Einstein et la philosophie des sciences.

10h30 - 11h00 : Prof. **Ridha Azzouz :** Le temps dans la connaissance scientifique d'après Paty.

Pause café.

11h30 - 12h00 : Prof. **Labidi Abdelkérim :** Paty et la causalité.

Discussion

L'après - midi libre

Dîner Gala à partir de 20h.

Samedi 24 novembre 2007

10h00-12h00 : Présidence de **Mme Angèle Kremer Marietti**
- Michel Paty : La connaissance scientifique comme pensée symbolique.

12h00 : Clôture.