



HAL
open science

Changements organisationnels en recherche : les cas de la physique nucléaire et de la physique des particules

Anne Branciard, Caroline Lanciano-Morandat, Claude Paraponaris

► To cite this version:

Anne Branciard, Caroline Lanciano-Morandat, Claude Paraponaris. Changements organisationnels en recherche : les cas de la physique nucléaire et de la physique des particules. [Rapport de recherche] Document LEST 96/3, LEST (UMR 6123). 1996, pp.175. hal-04006871

HAL Id: hal-04006871

<https://hal.science/hal-04006871>

Submitted on 27 Feb 2023

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

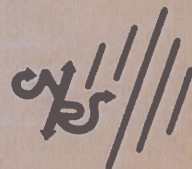


L'EST



CHANGEMENTS
ORGANISATIONNELS
EN RECHERCHE :
LES CAS DE LA
PHYSIQUE NUCLEAIRE
ET DE LA PHYSIQUE
DES PARTICULES

Anne BRANCIARD
Caroline LANCIANO-MORANDAT
Claude PARAPONARIS (Université de la Méditerranée)





DOCUMENT LEST
L.E.S.T. 96/3

**CHANGEMENTS
ORGANISATIONNELS EN
RECHERCHE :**

**LES CAS DE LA PHYSIQUE NUCLEAIRE ET
DE LA PHYSIQUE DES PARTICULES**

**Anne BRANCIARD
Caroline LANCIANO-MORANDAT
Claude PARAPONARIS (Univ. de la Méditerranée)**

LABORATOIRE D'ECONOMIE ET DE SOCIOLOGIE DU TRAVAIL
35 avenue J. FERRY - 13626 AIX-EN-PROVENCE CEDEX
Tél. : Standard : 04.42.37.85.00 - Fax : 04.42. 26.79.37

SOMMAIRE

Avant propos.....	7
Introduction générale	9
Changements technologiques dans l'instrumentation physique et mutations organisationnelles de la recherche : le cas de l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay	15
Introduction.....	17
I - La place des théoriciens à l'IPN	19
II - La structure hétérogène de l'IPN : deux exemples de processus de production de recherche	24
III - Equipement/laboratoire/projets : analyse de l'organisation de la production scientifique et technique à l'IPN	35
IV - Savoirs, savoir-faire et organisation du travail.....	50
V - Des ouvertures vers des missions élargies	66
Conclusion	78
Annexes	83
Annexe 1 - Méthodologie	85
Annexe 2 - Etat synthétique des comptes budgétaires de l'IPN Tableau de bord n° 18, juillet 1995.....	89
Annexe 3 - Opérations scientifiques. Tableau de bord n° 18, juillet 1995....	91
Annexe 4 - Evolutions de l'effectif IPN 1991-1995	93
Annexe 5 - Organigramme IPN. Rapport annuel 1993.....	95
Annexe 6 - Organigramme IPN, décembre 1995.....	97

SUMMARY

1. Introduction	1
2. Objectives of the study	2
3. Methodology	3
4. Results and Discussion	4
5. Conclusion	5
6. References	6
7. Appendix	7
8. Bibliography	8
9. Index	9
10. Glossary	10
11. Acknowledgements	11
12. Author's address	12
13. Contact information	13
14. Declaration of interest	14
15. Funding sources	15
16. Ethics approval	16
17. Data availability	17
18. Supplementary materials	18
19. Correspondence	19
20. Copyright	20

Monographie d'un laboratoire de physique des particules : le Centre de Physique des Particules de Marseille.....	99
Introduction.....	101
I – Création et développement du CPPM	104
1.1. Historique	104
1.2. L'administration du laboratoire par l'IN2P3	105
1.3. L'organisation du laboratoire	107
II – La coordination des espaces professionnels.....	111
2.1. Le couple théoricien-expérimentateur	112
2.2. Les physiciens expérimentateurs et les ingénieurs.....	117
III – La structuration de la recherche	121
3.1. La segmentation de l'activité de recherche	121
3.1.1. L'équipe engagée dans une expérimentation	123
3.1.2. Les collaborations	128
3.1.3. La place et le rôle de l'accélérateur : l'exemple du CERN	130
3.2. La constitution d'un espace scientifique.....	132
IV – Le système d'évaluation.....	134
V – Les externalités de la recherche.....	137
5.1. Le potentiel technologique.....	138
5.2. Les externalités.....	140
5.3. La sous-traitance.....	142
5.4. Les relations avec le système éducatif.....	143
Conclusion	145
Annexes	151
Annexe 1 – Méthodologie.....	153
Annexe 2 – Evolution du personnel du CPPM.....	157
Annexe 3 – Evolution des dotations en soutien de base.....	161
Annexe 4 – Contrat d'objectif entre l'IN2P3 et ses laboratoires	165
Annexe 5 – La formation.....	169
Annexe 6 – Organigramme.....	173

AVANT-PROPOS

Ces monographies de l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay et du Centre de Physique des Particules de Marseille s'insèrent dans le cadre d'un travail collectif de recherche¹ destiné à la rédaction du chapitre "L'organisation et le fonctionnement de l'IN2P3" (Alain d'Iribarne), dans l'ouvrage "25 ans de recherche à l'IN2P3 : la science, les structures, les hommes" (sous la direction de Jean Yoccoz, Ed. Frontières, 1996).

La recherche collective sur l'organisation de l'IN2P3 s'est appuyée sur l'analyse du fonctionnement de deux laboratoires (outre l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay et le Centre de Physique des Particules de Marseille présentés ici), d'un équipement national en physique nucléaire –le GANIL– et d'un instrument international –le LEP au CERN–, au travers de l'expérience d'Aleph. Une grille de lecture commune a été appliquée aux différents matériaux recueillis, afin de reconstituer le modèle de production de recherche en physique nucléaire et corpusculaire de l'IN2P3, et son évolution.

L'analyse présentée ici a été rendue possible grâce à la sympathique disponibilité des chercheurs, des ingénieurs, des techniciens et des administratifs de l'IPN et du CPPM qui ont accepté de nous consacrer un peu de leur temps. Nous tenons à les en remercier.

1 Recherche réalisée par une équipe de chercheurs d'Aix-en-Provence composée de :
– Branciard Anne (LEST-CNRS)
– Gadille Martine (LEST-CNRS)
– d'Iribarne Alain (LEST-CNRS)
– Lacroux François (GRASCE - Université d'Aix-Marseille III)
– Lanciano Caroline (LEST-CNRS)
– Lopez Jean-Rodolphe (GRASCE - Université d'Aix-Marseille III)
– Paraponaris Claude (CEFI - Université de la Méditerranée)

REVISED

The following information is provided for your information only. It is not intended to constitute an offer of insurance. The actual terms, coverages, amounts, conditions, exclusions, and limitations of any policy are set forth in the actual policy. Please read the actual policy carefully before you decide whether to purchase it.

The following information is provided for your information only. It is not intended to constitute an offer of insurance. The actual terms, coverages, amounts, conditions, exclusions, and limitations of any policy are set forth in the actual policy. Please read the actual policy carefully before you decide whether to purchase it.

The following information is provided for your information only. It is not intended to constitute an offer of insurance. The actual terms, coverages, amounts, conditions, exclusions, and limitations of any policy are set forth in the actual policy. Please read the actual policy carefully before you decide whether to purchase it.

For more information, please contact your agent or the company. The actual terms, coverages, amounts, conditions, exclusions, and limitations of any policy are set forth in the actual policy. Please read the actual policy carefully before you decide whether to purchase it.

INTRODUCTION GENERALE

On a vu qu'avant la guerre, la physique nucléaire et des particules avait centré ses recherches sur "le noyau de l'atome avec des petits moyens". Après la guerre, elle s'est orientée vers le proton et le neutron. Pour ces études, les chercheurs ont eu besoin d'accélérateurs plus grands que ceux dont ils disposaient dans leurs laboratoires. C'est pourquoi les pays se sont mis à en construire de nouveaux, et l'Europe s'est organisée collectivement pour construire un grand accélérateur au CERN...

Jusque là, les activités théoriques et les activités expérimentales étaient en interaction. Un processus de recherche intégré pouvait rassembler chez un même physicien des interrogations théoriques et des applications en terme d'expériences. Les outils d'analyse et les équipements d'expérimentation se trouvaient concentrés sur un même site. Cette proximité favorisait des investigations de caractère plutôt individuel selon des pratiques et des temporalités comparables à celles des autres disciplines, selon la grande tradition scientifique classique pratiquée en Europe...

Mais à la fin des années 60, un infléchissement de ce modèle de recherche s'est fait sentir. Une division du travail beaucoup plus marquée est apparue entre théoriciens et expérimentateurs, tandis que ces derniers commençaient à délimiter des champs scientifiques spécifiques. Deux espaces professionnels distincts ont alors commencé à se construire, l'un autour de l'axiomatique et l'autre autour de l'expérimentation. Par ailleurs, la construction et la mise au point de ces grands équipements ont conduit à donner à la technologie une "empreinte" importante sur la science : les appareillages passent au coeur du processus de recherche, stimulant à la fois la recherche expérimentale et la recherche théorique, et devenant un lieu d'accumulation de nouveaux savoirs.

A partir de ces évolutions émerge une nouvelle organisation du travail en physique nucléaire et corpusculaire avec une dissociation entre les lieux d'expérimentations et les laboratoires et une organisation de la recherche en projets transversaux. Les laboratoires ne sont plus le lieu unique de production de connaissances. Et, comme la plus part d'entre eux ont une existence antérieure à cette nouvelle configuration, les grands laboratoires complexifient leur organisation puisqu'ils

doivent à la fois faire fonctionner le système précédant et s'adapter à de nouvelles divisions du travail.

Aucun laboratoire ne dispose plus de l'ensemble des techniques nécessaires pour faire face aux exigences d'une recherche. Ils doivent donc coopérer, et l'organisation de ces coopérations devenue plus complexe, tend à leur faire adopter des procédures copiées sur le modèle des organisations industrielles... Ainsi, la physique nucléaire et corpusculaire française se serait-elle faite rattraper à cette époque, par le modèle de la "Big Science" qui, selon D Pestre, serait née aux Etats-Unis au cours de la deuxième guerre mondiale avec le projet "Manhattan" et tendrait à devenir dominant en raison de "la redoutable efficacité de ses pratiques à l'interface des sciences, des techniques de l'ingénieur et de l'Industrie"...¹. C'est pour gérer la dynamique de cette science que l'IN2P3 aurait été créé, pour qu'il se saisisse de la tradition de la physique française, de telle sorte que cette dernière puisse rester présente aux meilleures places de la compétition scientifique internationale.

Si l'histoire n'a pas été explicitement commanditée ainsi, l'étude des conditions de fonctionnement de l'IN2P3² nous a conduit à l'aborder de cette manière, tant elle imprègne nombre de ses membres. Il nous fallait en effet, trouver un fil conducteur qui permette de rendre compte de ses structures et de leur fonctionnement, au plus près possible de la réalité. Pour cela, nous avons abordé l'IN2P3 comme une structure productive de "connaissances" oeuvrant dans le cadre du service public et fonctionnant de façon plus ou moins efficace par rapport aux objectifs qui lui auraient été assignés. Nous avons procédé à une reconstitution de son fonctionnement en nous appuyant sur les processus de décision intéressant les principaux domaines de sa vie scientifique et administrative et en tenant compte de leurs temporalités :

- dans une perspective stratégique de long terme, avec la définition de grandes orientations scientifiques et les décisions de participer à la construction de grands équipements,

- dans une perspective de moyen terme, avec les décisions de participer à des expérimentations dans le cadre de programmes scientifiques, de même qu'avec toutes les

1 D. Pestre, "De la redéfinition des pratiques physiques durant la dernière guerre et la guerre froide", in *L'aventure Humaine*, n° 2, mai 1995.

2 Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules.

décisions de création de structures et de mise en place des procédures en appui à ces orientations, tant en matière de laboratoires que de programmes et de personnels,

– dans une perspective de court terme, avec toutes les décisions de fonctionnement, concernant tant les personnels que les programmes ou les laboratoires.

Pour décrire le fonctionnement de l'IN2P3 au regard de cet objectif, nous sommes partis de deux ensembles "tripolaires" de structures et d'acteurs collectifs considérés comme le coeur du système de production scientifique. Nous avons en effet estimé que c'était pour l'essentiel à la qualité du pilotage de ces ensembles par la direction de l'IN2P3 –seule ou avec ses partenaires nationaux et internationaux– et par le Comité national de la recherche scientifique, que l'on pourrait éventuellement juger de sa validité gestionnaire .

Du point de vue des structures, nous sommes partis d'un ensemble constitué par les laboratoires (sans distinction de statut), les instruments (y compris l'informatique) et les programmes (ou expériences ou projets), de façon à dégager les formes d'équilibres qui peuvent s'établir entre les trois, en particulier en relation avec la rupture de l'unité de lieu qui s'est opérée entre les laboratoires et les instruments.

Du point de vue des acteurs collectifs, nous sommes partis du groupe professionnel constitué par les physiciens expérimentateurs, dont on a étudié les modalités de coopération d'une part avec les physiciens théoriciens (sans qu'une distinction interne à ce groupe ait été faite a priori) et d'autre part avec les "instrumentistes" en distinguant, au sein de ces derniers, les "chercheurs" et les "ingénieurs", de façon à tenir compte des différences de corps existant au CNRS. Ces formes de coopération ont été étudiées en relation étroite avec le fonctionnement du "tripode" précédent, mais aussi en relation avec leur insertion dans des communautés scientifiques ou techniques, nationales et internationales¹.

En connexion avec ces ensembles considérés comme "faisant système", nous avons sélectionné une série de processus de décision que nous avons utilisés comme

1 L'intérêt porté à la qualité des coopérations internationales et de l'insertion dans les communautés scientifiques internationales ne doit pas surprendre, compte tenu de la place majeure que prend cette dimension dans ce secteur d'activité scientifique.

autant d'analyseurs de l'action de la direction de l'IN2P3. Pour cela nous avons retenu quatre grands domaines d'action :

– le scientifique, avec les décisions de création, de fermeture ou de restructuration de laboratoires, équipements ou programmes en relation avec de grandes orientations scientifiques de moyen-long terme ;

– le technique, avec les définitions des choix techniques intéressant les instruments, mais aussi des décisions de “faire soi même” ou de “faire faire par d'autres” ;

– le personnel, avec toutes les décisions de recrutement, d'affectation, de formation intéressant en particulier les reconversions et les mobilités ;

– le financier, avec toutes les décisions d'attributions de crédit concernant tant les “soutiens de base” des laboratoires, que les crédits exceptionnels d'équipement ou d'infrastructure ainsi que les dotations pour les programmes et expériences.

Les décisions dans ces domaines étant rarement prises par l'IN2P3 seul, nous avons apporté une attention particulière à la qualité des relations inter-institutionnelles, telle qu'elle était ressentie par les personnels, que ce soit du point de vue national avec le CEA et les universités, ou que ce soit du point de vue international, dans le cadre des “grands instruments”.

Une des dernières caractéristiques, enfin, de la “Big Science”, est qu'elle s'inscrit dans des temporalités longues correspondant à des cycles d'activités scientifiques qui sont entre autres rythmés par les décisions de construction de nouveaux équipements destinés à la production de données. Trois grands types d'activités ont donc du être distingué, qui structurent de façon différenciée, les interventions des acteurs :

– les constructions d'instruments et de leurs salles d'expérience, avec la préparation scientifique, la définition du projet technique et la construction des équipements de base et des salles d'expérimentation ;

– l'usage de ces équipements par des expérimentations en vue de faire l'acquisition de données en distinguant la préparation de la réalisation ;

– l'utilisation de ces données avec l'exploitation, l'interprétation et la publication.

Enfin, toujours dans une perspective d'évaluation du fonctionnement du "système", nous nous sommes bien entendu intéressés à ses "productions". Pour cela, en "harmonie" avec les orientations de politique générale de la science, nous avons retenu non seulement les questions de publications scientifiques, mais aussi celles de formations (principalement doctorales), celles de valorisation tant à partir des avancées techniques que scientifiques, enfin la participation à l'Information Scientifique et Technique (IST), l'infiniment petit au même titre que l'infiniment grand apportant du rêve...

1. The first part of the report is a general introduction to the subject of the study.

2. The second part of the report is a detailed description of the methods used in the study.

3. The third part of the report is a discussion of the results of the study.

4. The fourth part of the report is a conclusion and a list of references.

5. The fifth part of the report is an appendix containing additional data and figures.

*Changements technologiques dans
l'instrumentation physique et mutations
organisationnelles de la recherche : le cas
de l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay*

Anne Branciard

...the fundamental nature of business
operations is to be conducted in a
manner of five or six days a week

John B. ...

INTRODUCTION

En 1954, vient en discussion au Parlement un projet de loi autorisant la ratification par la France d'une "convention pour l'établissement d'une organisation européenne pour la recherche nucléaire", le CERN. C'est dans cette circonstance de débats qu'Irène et Frédéric Joliot-Curie, tout en approuvant ce projet de coopération internationale, soutiennent la nécessité de créer parallèlement, au niveau national, des centres universitaires équipés d'accélérateurs de particules, pour doter de moyens modernes la recherche fondamentale française en physique nucléaire.

Ainsi fut prise, après plusieurs années de demandes scientifiques insatisfaites, la décision de construire, sur le site d'Orsay, des laboratoires universitaires de physique nucléaire, l'un pourvu d'un accélérateur linéaire à électrons (le LAL), l'autre d'un Synchrocyclotron à protons, l'IPN, fondé et dirigé en 1956 par Frédéric Joliot, puis, à partir de 1958, par Jean Teillac.

Dès l'origine, une activité théorique en physique nucléaire et en physique des particules y a été développée.

Sur le plan expérimental, les recherches sur la physique des énergies intermédiaires, celles sur les ions lourds, la spectroscopie nucléaire, ont fait de l'IPN, au début des années 70, le laboratoire où l'essentiel de la discipline s'accomplit en France, autour de trois machines.

Avec la création de l'IN2P3 en 1971, l'IPN est intégré dans la constitution d'un nouvel Institut, et amorce sous son égide une évolution de long terme, au titre d'une politique nationale qui fixe un cadre nouveau à la physique nucléaire¹. Deux mouvements vont caractériser cette évolution.

Le premier concerne la division de physique des particules, qui part à Annecy constituer le noyau d'un nouveau laboratoire propre, créé officiellement en 1976. Une quarantaine de personnes accompagnent Marcel Vivargent, qui en sera le premier directeur. Consécutivement, l'IPN sera séparé en deux divisions, la Division de Physique Théorique (DPT), et la Division de Recherche Expérimentale (DRE), centrée sur la physique nucléaire.

Le second mouvement intervient à la fin des années 70, avec la dissociation laboratoire/équipements, qui provoque de profonds changements d'organisation dans le domaine de la physique nucléaire, autour de grands équipements nationaux.

1 Entretien avec Sydney Gales, Orsay, 19/03/96.

Les programmes de physique sur le synchrocyclotron se réorientent vers ceux développés dans le laboratoire national Saturne à Saclay, créé en 1977. Du cyclotron Alice naîtra le projet GANIL à Caen à partir de 1975. Des équipes de physiciens et de techniciens vont ainsi essaimer sur les sites de deux nouveaux laboratoires nationaux, dont les premiers responsables sont issus de l'IPN.

La troisième machine, le TANDEM-MP, évoluera plus récemment vers un usage pluridisciplinaire, avec la montée des recherches de ce type.

La vocation de l'IPN change alors pour partie, pour devenir la "base arrière" des physiciens constituant l'essentiel des utilisateurs CNRS des installations nationales gérées conjointement avec le CEA. Parallèlement, les équipes et groupes du laboratoire s'investissent dans la réalisation d'accélérateurs et de détecteurs nationaux et européens comme AGOR, SPIRAL ou LHC pour les accélérateurs, et EUROGAM, INDRA, SPES III et IV, EDEN, ALICE, pour les détecteurs.

Alors que d'autres laboratoires de l'IN2P3 restent centrés sur la réalisation et le fonctionnement de machines in situ, l'IPN s'inscrit dans le mouvement général de participation à des collaborations internationales.

La politique scientifique du laboratoire est définie dans le cadre des axes programmatiques de l'IN2P3, qui lui en assure les moyens, en lui affectant une dotation de base annuelle (crédits de fonctionnement récurrents. Cf. annexe 2) et des budgets d'autorisations de programme pluriannuelles (cf. annexe 3) pour les opérations de recherche sélectionnées (moyens en fonctionnement et équipement). La soumission des projets de recherche au choix de l'IN2P3 s'opère après un débat général contradictoire sur l'ensemble des propositions, ce qui assure une certaine transparence des orientations du laboratoire. Les crédits des autorisations de programme (AP) sont directement affectés à l'équipe opérante, sans médiation du laboratoire, et gérés par elle sur ligne budgétaire propre, ce qui permet une gestion simplifiée. Les projets hors AP peuvent être subventionnés directement par l'IPN.

Les différentes facettes du passage d'une entité de lieu d'expérimentation et d'accumulation scientifique à un profil de laboratoire "base arrière" d'équipements nationaux, puis de plus en plus internationaux, illustrent les difficultés d'évolution d'un "vieux laboratoire" de physique nucléaire dans un contexte scientifique et organisationnel nouveau. Plus largement, cette étude de cas pose la question de la déstabilisation de la cohérence d'une organisation productive, et de ses formes de recombinaison et d'inertie dans une période de transition. Celle-ci sera analysée successivement au travers de la place des théoriciens à l'IPN, de la différenciation dans les processus de production de recherche des équipes, de l'évolution de l'organisation scientifique et technique, des

ressources humaines et de l'organisation du travail, et des différentes externalités du laboratoire.

I – LA PLACE DES THÉORICIENS À L'IPN

1.1. Montage institutionnel

Les théoriciens de l'IPN (45 chercheurs, dont 27 CNRS et 18 ES) sont regroupés dans la Division de Physique Théorique (DPT), qui est une Unité de recherche associée au CNRS (Département SPM Sciences Physiques et Mathématiques) sous la tutelle des Universités Paris XI et Paris VI. Ils relèvent de la Commission 02 (Physique théorique, théories et modèles). Cette unité a été créée en 1962, à l'initiative d'un universitaire (le professeur Maurice Jean, qui a dirigé l'IPN de 1968 à 1975), avec des chercheurs théoriciens qui travaillaient déjà à l'IPN, ceci afin d'avoir une personnalité propre, *"pour des raisons en partie scientifiques, en partie administratives"*. En 1984, l'IPN a changé de statut : d'UER à dérogation, il est devenu unité mixte IN2P3 – Université Paris XI. La DPT ne changeant pas, il en résulte un particularisme institutionnel : la DPT devient une URA à l'intérieur d'une UMR ; à ce titre cette Division a son propre Comité de Direction.

L'appartenance au département SPM (Sciences Physiques et Mathématiques, 120 unités) date de la fondation de celui-ci en 1990, accompagnant un redécoupage du Comité National. Auparavant, ces théoriciens étaient en MPB. Le projet de la direction générale du CNRS de regrouper les départements MPB (Mathématiques, Physique de base) et PNC (Physique Nucléaire et Corpusculaire) en un seul département SPM, ayant avorté, face à l'opposition des physiciens nucléaires de l'IN2P3, la séparation institutionnelle théoriciens/expérimentateurs a donc été maintenue.

Il découle de cette configuration qu'il n'y a pas de directivité de l'IN2P3 sur les recherches des théoriciens, et que, selon une entente tacite qui pourrait être remise en cause, ceux-ci ont toute liberté de leurs thèmes, y compris en dehors du champ de l'IN2P3. De même qu'au CNRS, on constate donc à la DPT une tendance à un glissement au fil du temps, à partir de la physique des particules et la théorie des champs, vers la physique statistique. Cette évolution au cours des dernières années conduit, à côté de la physique du noyau et de la physique des particules qui continuent de représenter une activité importante, à l'apparition de thèmes en théorie des champs et surtout en mécanique statistique, sur lesquels l'équipe a acquis une reconnaissance internationale de premier plan. Elle accentue donc aussi la ségrégation à l'IPN entre théoriciens et expérimentateurs.

Plus généralement, il existe une tension entre les départements SPM et PNC (IN2P3) quant aux théoriciens nucléaires et des particules, les éléments les plus actifs intégrant plutôt (aux dires d'un de nos interlocuteurs) les laboratoires SPM du CNRS.

Le financement de la DPT est également mixte, ce qui est particulier à l'IPN. La Division émarge à la dotation de base de l'IPN, mais est également subventionnée, en tant qu'URA, par le département SPM et par la Mission Scientifique et Technique du Ministère de la Recherche, via l'Université. Enfin elle participe à trois programmes européens, ce qui lui permet par exemple de financer des post-doctorats.

La Division utilise le système informatique centralisé de l'IPN, qui est son principal instrument de travail.

1.2 Les relations entre physiciens théoriciens et expérimentateurs

Bien qu'ils soient situés dans le même laboratoire, les relations entre théoriciens et expérimentateurs sont assez lâches ; les points de rencontre existent, mais il semble que les processus de recherche évoluent le plus souvent en parallèle, en raison de rythmes et de modalités de recherche différents. Les théoriciens disent avoir des perspectives plus ouvertes, et des "temps de réponse" plus rapides. De ce fait, leurs mobilités thématiques sont fréquentes, entre la physique nucléaire et la physique des particules, leurs objets sont plus divers : *"La physique théorique se fait dans un contexte un peu global, si on a des vues trop directives, on passe à côté d'un tas de choses"*. Les théoriciens se targuent d'un certain "dilettantisme", leurs engagements sur des programmes IPN sont individuels, leur organisation en groupes à géométrie variable. Une plus forte proportion d'universitaires que dans la Division de Recherche Expérimentale est sans doute un facteur de cette non rigidité. Face à cette "légèreté", les expérimentateurs apparaissent rivés par leurs lourds et coûteux équipements à des orientations collectives sur dix ans, et obligatoirement fixés sur des axes sélectionnés par la communauté scientifique internationale : *"La politique de la physique des particules se fait au CERN ; en physique nucléaire, c'est moins centralisé, mais très coordonné au niveau européen ou international"*.

Le passage des théoriciens vers l'expérimentation (ou vice-versa) est extrêmement rare. En revanche, il arrive que des thésards, après l'étude d'expériences, se dirigent finalement vers la théorie. L'absence d'instances communes de concertation et d'évaluation ne favorise pas les échanges, et encourage plutôt les incompréhensions mutuelles.

Ainsi, au Conseil du département SPM, ne siègent pas de physiciens nucléaires ou des particules expérimentateurs. De même, s'agissant des équipes pluridisciplinaires de l'IPN oeuvrant aux frontières, par exemple le groupe travaillant sur le Tandem sur la physique des agrégats, leur évaluation est faite uniquement par l'IN2P3, *"peu outillé pour évaluer un tel domaine"*. Les théoriciens pensent qu'il existe un certain cloisonnement entre les laboratoires de l'IN2P3 et ceux d'autres départements CNRS, pour les thèmes qui sont à l'intersection, tout en appréciant positivement ce recouvrement disciplinaire. Leur opinion est ainsi ambivalente. Par rapport au nombre et à la taille moyenne de ses

laboratoires, à ses missions d'instrumentation et d'expérimentation (ainsi, c'est l'IN2P3 –avec le LAL– qui construit Virgo, projet du ressort du gravitationnel, et non le SPM dont relevait l'équipe de physique atomique (section 04) à l'origine de l'idée), l'IN2P3 a des modes de gestion et d'organisation du travail jugés efficaces. Mais la force de l'IN2P3 en tant que groupe constitué (et c'est en tant que tel que les chercheurs IN2P3 s'intègrent à l'Université) a l'envers de la médaille, un danger possible d'isolement par rapport à la communauté scientifique plus large, un manque d'ouverture, plus spécialement à l'IPN.

A l'inverse, selon les expérimentateurs et techniciens de l'IPN, les théoriciens ne forment pas une communauté scientifique avec les autres chercheurs. Certaines opinions sont fondamentalement plus radicales : la physique théorique serait actuellement, comme l'étaient auparavant les mathématiques par rapport à la physique, "à la solde", en s'efforçant d'expliquer les faits expérimentaux, dont certains remettent en cause la théorie, en ébranlant par exemple la construction du modèle standard..

Au-delà de ces regards croisés, on peut essayer de cerner concrètement les interventions des théoriciens IPN par rapport aux avancées de la physique expérimentale.

1.3. Le rôle des théoriciens quant aux équipements

Les théoriciens sont fortement impliqués dans les instances européennes de la communauté scientifique de physique nucléaire, tels le NuPECC (Comité Européen de Coopération en Physique Nucléaire), les comités européens de projets. A ce titre, la DPT participe aux recommandations et à la réflexion sur les projets expérimentaux d'envergure, à l'échelle européenne, à l'horizon de l'an 2000. Un premier projet a concerné la construction d'un accélérateur d'électrons à faisceau continu de 15 GeV, permettant de tester des idées dérivées de modèles inspirés par QCD. Un second projet préconise la production de faisceaux de noyaux radioactifs. Un troisième (EUROGAM), a porté sur la définition d'un détecteur pour des études de spectroscopie gamma. La DPT a été chargée de l'organisation d'une conférence internationale sur la physique du premier projet, certains de ses chercheurs ont été orateurs invités aux conférences sur le second projet, enfin elle appartient au Comité international chargé de préciser les domaines de physique nucléaire les plus intéressants pour le détecteur gamma.

Plus généralement, la DPT est consultée sur la conception et les domaines de validation d'instruments originaux (source séparateur d'ions etc.). Elle participe aux Comités d'expérience des accélérateurs, par exemple au CERN (LEAR), au groupe d'experts qui envisage certains types de collisions sur le LHC. Un chercheur de la DPT a été président du Comité d'expérience du GANIL.

Les théoriciens de l'IPN exercent donc une influence non négligeable dans les orientations de recherche de la communauté scientifique, le dispositif de sélection des expériences et l'accès aux grands équipements internationaux, en PN comme en PP.

1.4. La place des théoriciens à l'IPN

Sur les dix dernières années, les rapports d'activité de l'IPN font le constat incantatoire de "*collaborations toujours plus étroites entre expérimentateurs et théoriciens*", surtout en structure nucléaire et matière nucléaire.

En structure nucléaire traditionnelle, le colloque de Fontevraud en 1986 a matérialisé l'effort commun porté à la compréhension des systèmes à petit nombre de nucléons.

Mais la DPT est surtout active dans le domaine des énergies intermédiaires : ses méthodes de champ moyen ont permis l'exploration des propriétés des noyaux en rotation rapide, et les calculs ont fait apparaître toute une variété de transitions de forme, allant jusqu'à des noyaux superdéformés. L'unité a recherché des outils adaptés au calcul des distributions de masse dans les collisions d'ions lourds, elle a également contribué de façon significative à l'étude des noyaux chauds. A des énergies encore supérieures, le modèle de percolation nucléaire développé dans la division est exploité pour tenter d'expliquer les réactions de multi-fragmentation correspondant à une cassure du noyau, et la formation d'un éventuel plasma quarks-gluons.

Les zones de recouvrement entre ces constructions théoriques, et certaines thématiques de la DRE (Division de recherche expérimentale) expérimentées au GANIL, à Saturne, au GSI de Darmstadt, laissent penser que ces modèles ont été incitatifs d'hypothèses testées ensuite par les expérimentateurs, ou ont pour le moins fourni des outils de référence, utiles pour l'analyse des résultats d'expériences. Mais les conditions d'une jonction dynamique ne sont pas réunies.

Les théoriciens reconnaissent que certains d'entre eux, qualifiés dans d'autres laboratoires de "phénoménologues", sont "*proches de l'expérience*", proximité pouvant aller jusqu'à une co-signature d'articles avec les expérimentateurs, lorsqu'ils interviennent dans l'interprétation. Mais la démarche de faire tester leurs calculs ou leurs prédictions théoriques sur certaines "régions" de noyaux, par exemple, observées par les expérimentateurs, paraît se heurter à de multiples obstacles dans la pratique, notamment le temps de réponse. L'interaction inverse semble encore plus difficile : si les expérimentateurs remarquent des phénomènes nouveaux dans des "régions" qu'ils étudient depuis longtemps, et sollicitent les théoriciens pour tenter de les expliquer, leur demande n'est pas souvent suivie de retour. Ces limites de communication ont eu d'ailleurs pour effet d'inciter certains jeunes chercheurs qui s'y sont heurtés au cours de

leur thèse, à l'occasion d'observations inédites, à se diriger vers la théorie, pour développer eux-mêmes des modèles explicatifs.

Ces décalages de temporalités entre modèles théoriques et expérimentations, se conjuguent à l'IPN avec des distorsions croissantes des domaines couverts par la DPT et la DRE, en raison de la "dérive" due aux mobilités thématiques de la DPT, non seulement vers la physique des particules, mais vers la mécanique statistique ; celle-ci recouvre une grande variété de sujets et implique un grand nombre de physiciens ayant acquis dans ce domaine une compétence internationale.

Dans ces conditions, il n'est pas surprenant que les équipes de physique nucléaire traditionnelle de l'IPN se tournent plutôt, pour collaborer, vers des théoriciens étrangers pour rédiger ensemble des articles.

Actuellement, les théoriciens de l'IPN disent offrir à celui-ci une "*culture scientifique générale*" de physique théorique, par leur présence aux conférences internationales, aux colloques, aux workshops du NuPECC ou autres ; leur accueil d'une vingtaine de visiteurs étrangers par an, de renommée mondiale, pour des séjours de 1 à 18 mois, participe de cet "environnement" enrichissant.

Leur titre de membres de Comités de rédaction de revues internationales allemandes et américaines est également intéressant pour l'accès des expérimentateurs à la publication dans ces revues.

Au-delà de ces éléments positifs, mais périphériques, les liens actuels sur les opérations de recherche de la DRE sont très distendus, dans certains cas inexistantes. Une évolution se dessine cependant avec la restructuration en cours des groupes de recherche, à l'initiative du nouveau directeur de la Division, accompagnant un recentrage sur quelques programmes communs (cf. IV.3). Une fois les groupes thématiques créés, la perspective est d'y associer des théoriciens proches de leurs physiques, à raison d'un ou deux par groupe, de façon plus étroite et régulière, pour établir une communication plus féconde. Dans le groupe de physique hadronique avec sonde électromagnétique, dans le futur groupe LHC sur les ions lourds ultra relativistes et le plasma quarks-gluons, les avancées théoriques de chercheurs de la DPT et leur implication dans les projets ELFE et LHC devraient faciliter leur intégration. Pour les équipes pluridisciplinaires, les convergences opèrent déjà (par exemple, coopération d'un théoricien statisticien à une recherche de l'équipe Physique/Biologie). Sur le principe, certains théoriciens approuvent le projet, mais les avis sont partagés, d'autres craignant que l'indépendance de la Division soit battue en brèche par une dissolution des théoriciens dans les groupes d'expériences.

II – La structure hétérogène de l'IPN : deux exemples de processus de production de recherche

Contrairement à la physique des particules, le domaine de la physique nucléaire se révèle d'une complexité croissante, de la recherche sur les propriétés des particules hadroniques (structure nucléaire et physique des énergies intermédiaires) à celle de la matière nucléaire dans tous ses états.

La grande diversité des voies de recherche (tant sur le plan conceptuel que de l'appareillage utilisé) se traduit, à l'IPN dans une certaine fragmentation du champ couvert, reflétée par l'hétérogénéité de la structure. Recentré récemment sur quatre axes thématiques qui préfigurent la structure nouvelle souhaitée pour la décennie à venir, le domaine d'investigation de l'IPN laisse place cependant à des recherches pluridisciplinaires, utilisant des méthodes et des techniques issues de la physique nucléaire, mais appliquées ou combinées à des champs différents. L'opportunité est alors offerte, pour une étude sur l'organisation de la recherche, de s'interroger sur la relation entre l'objet et le processus de recherche d'une part, la spécificité organisationnelle des équipes d'autre part.

La dichotomie "noyau dur"/recherches péri-nucléaires de la structure IPN sera donc illustrée par deux exemples de processus de production de recherche, de l'idée à l'exploitation des résultats : celui de l'équipe PNIL (Physique Nucléaire des Ions Lourds) et celui de l'équipe Interfaces Physique/Biologie.

Rappelons que dans la répartition de la dotation budgétaire de l'IN2P3, les programmes sur la matière nucléaire représentent 26,5 % et les recherches interdisciplinaires 3,5 % (chiffres 1993).

2.1. L'équipe Physique Nucléaire des Ions Lourds (PNIL)

2.1.1. Genèse et évolution des thématiques

La physique des ions lourds est une des voies traditionnelles de recherche de l'IPN, qui a été développée dès 1965 sur le Cyclotron à énergie variable (CEV) Alice. Ses succès ont placé l'IPN en position de leader mondial dans ce domaine. A la fermeture d'Alice, une dizaine de physiciens sont partis créer l'équipe initiale de GANIL en 1982 et pour certains aider, pendant quelques années, à son démarrage, avant de revenir à l'IPN. Actuellement, plus de vingt expérimentateurs, appartenant aux groupes PNIL et SNR (Structure Nucléaire par Réactions), poursuivent en rotation des activités sur le GANIL.

Le groupe PNIL existe depuis une quinzaine d'années, et se situe actuellement sur la physique faite au GANIL. Il couvre des thématiques prioritaires de l'IN2P3, mais

la concentration de celui-ci sur un certain nombre de voies poussées par la direction, jugée plus interventionniste qu'auparavant, le dirige vers une réorientation de ses thèmes traditionnels (résonances géantes, noyaux exotiques, états multi-ions) sur les faisceaux radioactifs.

2.1.2. Le groupe se compose de 16 chercheurs permanents (3 DR2, 4 CR1, 2 CR2, 7 ES), 3 thésards, et 2 "techniciens d'appui". Il est scindé en deux équipes, correspondant à l'origine à l'utilisation respective de deux instruments sur le GANIL, LISE et SAGA.

Le groupe est une entité administrative, de composition historique, son découpage est jugé relativement artificiel, la restructuration en cours est donc perçue comme visant à une meilleure homogénéité des groupes sur un plan scientifique, sans que toutefois cette structure, que la direction IPN tend à renforcer, apparaisse indispensable aux chercheurs pour leur activité.

Le responsable, choisi de façon consensuelle par le groupe, est renouvelé tous les 3 ans. Il a un rôle interne d'animation et de coordination, de relais administratif (gestion des missions, des crédits du groupe sur dotation de base, accueil des visiteurs...), de représentant du groupe auprès de la direction de la DRE (conseil de division). Il n'avait pas jusqu'à présent de fonction de politique scientifique.

L'entité réelle de recherche est l'équipe (5-6 personnes regroupées par affinité, avec des thésards). Sur une même thématique, subdivisée en plusieurs expériences (2 ou 3 par an) parfois structurées en étapes et avec chacune un responsable (porte-parole), l'équipe intervient sur un grand instrument (le plus souvent le GANIL), en coopération avec d'autres équipes, nationales ou étrangères (danois, norvégiens). Il y a assez peu de collaboration entre équipes d'une même groupe.

2.1.3. Sur le plan de la circulation des savoirs et de la mise à jour des connaissances, les chercheurs participent à des cycles de conférences internationales accueillant 300-350 personnes tous les 2-3 ans sur des thèmes de physique larges (ions lourds, noyaux exotiques...); à des workshops sur des thèmes plus précis, spécialisés, qui sont de véritables instances de travail ; à la conférence mondiale de physique nucléaire (1000 physiciens). En interne, ils peuvent suivre les séminaires hebdomadaires de la DRE et les journées thématiques (3 par an). Ces rencontres aboutissent à des collaborations internationales nouées au niveau européen, mais aussi avec les russes depuis une dizaine d'années, avec les américains pour des échanges et la mise en commun de détecteurs et spectromètres avec des laboratoires US (Michigan, Berkeley...); un accord franco-japonais vient d'être signé. Dans le domaine des faisceaux de noyaux exotiques (projet SPIRAL) existe une concurrence américaine et japonaise.

Les thésards viennent s'inscrire dans les programmes en cours du groupe, à raison d'un recrutement tous les 2 ans. Leurs sujets sont tributaires des deux programmes du groupe, leur choix s'effectuant selon l'étape à laquelle le thésard préfère s'insérer (participation à l'expérience, par exemple) en fonction de l'avancement du programme. Les sujets proposés par le groupe sont considérés "*pas trop hasardeux, sans risques*", parce qu'ils relèvent de programmes sans beaucoup d'incertitudes.

2.1.4. Si l'on suit le déroulement d'un projet (nous prendrons l'exemple du multidétecteur MUST, pour l'équipe SAGA), l'idée naît généralement de résultats d'une expérience précédente, le processus est continu. Elle donne lieu à la conception d'un nouvel équipement, comprenant des études du service électronique pour déterminer la possibilité d'une électronique suffisamment compacte pour le détecteur postulé, et des simulations sur ordinateur des résultats escomptés de l'expérimentation en regard des mesures prédictives théoriques.

Une équipe est formée, en collaboration avec le service de physique nucléaire du CEA, élargie au groupe SNR, deux étudiants, trois ingénieurs et des techniciens des services techniques pour construire et tester ce détecteur (3 ans entre le début et la première expérience, coût de 2 à 2,5 MF).

Préalablement à l'engagement d'une procédure de financement du projet, un pré-accord a été demandé sur le thème, par les physiciens impliqués, au comité d'expérience du GANIL. Puis le projet est argumenté auprès de la direction IPN pour être défendu en tant qu'AP. Une fois l'AP obtenue auprès de l'IN2P3 (2 années pour MUST) le détecteur prêt et les essais réalisés pour tester ses potentialités ou ses éventuelles anomalies, le Comité d'expérience intervient à nouveau pour donner son accord scientifique pour l'utilisation de temps de faisceau.

L'expérience sur site s'effectue en plusieurs phases :

Les détecteurs de physique nucléaire sont de construction suffisamment légère pour être facilement transférables du laboratoire au site d'expérimentation.

Le montage du détecteur sur l'accélérateur, sur 10-15 jours, est fait par un technicien d'appui du groupe en relation avec les services techniques du GANIL et des physiciens. L'installation comprend trois parties : le détecteur, l'électronique, l'informatique pour le recueil des données. Les physiciens qui ont participé aux tests du détecteur suivent le démarrage. Puis vient la prise de données. L'expérience se déroule par passage du faisceau en continu sur environ une semaine, c'est un travail collectif parfois de 20-30 personnes, avec organisation en 3x8 ("*Il n'y a pas de discrimination, tout le monde s'y met*"). Les résultats sont enregistrés, puis les données sont dépouillées à l'IPN. Le dépouillement des données, travail de routine, incombe plutôt au thésard, considéré plus disponible, mais encadré par un "jeune chercheur" qui suit son travail au

quotidien. Chaque chercheur concerné analyse ensuite les résultats, ce qui donne lieu à des discussions dans l'équipe. A cette étape, les théoriciens de physique nucléaire de l'IPN interviennent parfois, pour exploiter les résultats (en début d'expérience, ils donnent quelquefois des idées pour la conception des instruments), mais les relations sont plutôt fréquentes avec des théoriciens étrangers, pour écrire les articles consécutifs à l'expérience.

L'analyse des résultats provoque des idées de nouvelles expériences, et donne lieu à des publications dans des revues internationales. Les articles sont signés en tête par les responsables d'expériences, puis en ordre alphabétique par tous ceux qui ont collaboré (mais il n'y a pas de règle stricte, certaines équipes favorisent les thésards, ou les jeunes chercheurs). Les ingénieurs et techniciens sont cités dans les articles sur des manipulations auxquelles ils ont beaucoup participé.

2.1.5. La valorisation est essentiellement scientifique, au travers des publications et communications de colloques, et a valu aux chercheurs de ce groupe de se voir décerner différentes distinctions (médailles du CNRS) et prix nationaux (Académie des Sciences, prix Joliot-Curie) et internationaux d'Instituts étrangers.

Se situant délibérément dans la démarche des scientifiques européens et sur des créneaux traditionnels de la recherche fondamentale, les chercheurs de ce groupe ne développent pas de préoccupations d'utilité collective, ou de retombées pour l'industrie, estimant qu'il ne relève pas de leur fonction de les favoriser ou de "*vendre leurs compétences*", et que les retombées naissent d'elles-mêmes vingt ans plus tard.

Bien que de plus en plus de chercheurs CNRS participent à l'enseignement (surtout à des cours de DEA et TD), les enseignants-chercheurs estiment que l'IPN est peu ouvert sur l'Université, et qu'ils assument seuls la jonction, tout en étant relativement "enfermés", bien qu'en principe la mobilité soit permise, sur le thème de recherche pour lequel leur poste a été créé dans le laboratoire.

Pendant dix ans, la physique nucléaire a été complètement défavorisée dans les attributions de postes universitaires. Pour les recrutements CNRS, le thème des ions lourds a été relativement privilégié, mais les entrées restent peu nombreuses (une tous les deux ans en moyenne). Un des problèmes du groupe est donc celui de son vieillissement et de son faible renouvellement, qui rompent l'équilibre idéal des équipes entre responsables de projets potentiels et chercheurs de base. Les thésards jouent un rôle essentiel dans l'avancée des programmes, ils sont fortement intégrés aux équipes, et si ce sont les directeurs de thèse qui les évaluent en continu, suivent chaque étape en donnant des pistes par rapport aux objectifs, supervisent les articles etc..., toute l'équipe est partie prenante dans l'encadrement de leur travail.

L'absence de statut de post-doc, permettant une préparation indispensable pendant deux ans en physique nucléaire pour candidater au CNRS, la récente directive de la direction IN2P3, pour inciter aux mobilités géographique et thématique, de ne pas embaucher les CR2 dans le laboratoire où ils ont fait leur thèse, sont perçus comme autant de handicaps à un rajeunissement des équipes.

2.1.6. Sur le plan de sa structure et de son fonctionnement organisationnels, le groupe apparaît en effet comme un creuset de reproduction, fondé sur une forte individualisation et spécificité scientifiques et un travail expérimental collectif.

Le passage sur les appareillages hors site a rompu l'isolement des chercheurs, en concentrant les thèmes, en suscitant des collaborations extérieures. Les pratiques imposées, en physique nucléaire, par les nouveaux équipements et leurs délais d'utilisation, influent sur le processus de recherche, mais dans une certaine continuité. La concentration sur les expériences recouvre encore une dispersion en petites équipes coordonnées, travaillant au sein des laboratoires, dans le cadre d'une division du travail scientifique. Sur un plan technique, la génération actuelle des multidétecteurs exige une coopération entre techniciens de groupe et équipes externes. Au niveau expérimental, la petite taille des équipes est adaptée aux interventions en collaboration internationale sur les grands instruments, permettant la gestion d'une juxtaposition des compétences, générant une forte cohésion, marquée par une combinaison de spécialisation scientifique et de polyvalence des intervenants sur les différentes activités. Contrairement aux pratiques d'autres laboratoires, les expérimentateurs du groupe participent à toutes les phases de l'expérience (simulation, instrumentation, analyse des données...), sans spécialisation opérationnelle.

Les relations dans le travail collectif sont peu marquées par les différences catégorielles, les décisions sur la vie quotidienne du groupe sont collégiales. La structure apparaît plutôt de type associatif, entre chercheurs évalués individuellement et centrés sur le cœur de leur discipline, impliqués principalement dans la communauté internationale de physique nucléaire, mais modelés par leur trajectoire professionnelle à l'IPN, entité d'appartenance et d'accumulation scientifique.

L'apparence soudée des équipes du groupe a ainsi pour contrepartie sa "clôture", i.e. une réticence à la mobilité, une focalisation sur la recherche fondamentale pour elle-même, un certain cloisonnement des chercheurs, une faible ouverture sur les autres disciplines, donc une grande stabilité du milieu.

Appuyé sur la souplesse d'implantation des détecteurs sur l'accélérateur, le mode de travail reste encore artisanal, la physique nucléaire étant plus facile à contrôler par ses producteurs que la physique des particules, même si la migration de la physique des ions lourds sur le GANIL préfigure une centralisation, imposant une rationalisation, et un passage au "modèle professionnel" et aux méthodes de la physique des particules.

2.2. L'équipe Interfaces Physique/Biologie

2.2.1. Genèse et place à l'IPN

La fondation de l'équipe en 1987, s'est faite par scission d'avec le groupe PNIL, d'un enseignant-chercheur et d'un chercheur CNRS, tous deux physiciens nucléaires, souhaitant abandonner les modèles et les méthodes de travail en mutation sur les grands instruments, et attirés à la fois par la biologie et ses applications "d'utilité sociale", et par l'aspect artisanal du travail des biologistes sur les mécanismes du cerveau. Si la direction de l'IPN a "*laissé faire*", elle n'a pas appuyé cette "*déviance*" vers la biologie, l'abandon du coeur de la discipline. A l'époque, la pluridisciplinarité était "*tolérée*" à l'IN2P3, mais peu répandue. A l'IPN, se développait aussi une équipe sur les agrégats. Il faut cependant souligner que, quelle que soit dans le temps l'attitude plus ou moins favorable de l'IN2P3 à l'égard de la pluridisciplinarité, il ne peut que conforter des projets existants, qui sont portés par des individus ou des petites équipes de qualité, mais qui n'émergent que parce qu'ils naissent dans une culture scientifique et technique, et à la jonction de compétences et d'équipements, propres à un laboratoire.

Au début, à côté de la dotation de base pour crédits de fonctionnement de deux chercheurs et de petits subsides universitaires, l'équipe, qui avait besoin d'un budget élevé pour son projet, est allée chercher l'essentiel de ses financements sur contrats par la biologie. Ses thésards candidats au CNRS n'ont pas été recrutés, "*non par ostracisme*", mais en raison de leurs thématiques qui ne relevaient pas des thèmes prioritaires de l'IPN.

L'intervention de P. Lehmann, alors directeur de l'IN2P3 en 1989, a été décisive pour stabiliser l'équipe par l'octroi de deux postes d'IR sur CDD, permettant de faire la jonction entre les financements de thèses et l'obtention de postes universitaires. Néanmoins, la mobilité vers l'équipe d'un chercheur des énergies intermédiaires qui travaillait sur Saturne n'a pas été facilitée, et a été évaluée par la commission 03 de façon "*mitigée*".

Au fur et à mesure que l'équipe s'est étoffée, ses thèmes, à l'origine axés sur la différenciation cellulaire, se sont diversifiés, et de même ses sources de financement. Ainsi, l'équipe bénéficie actuellement d'un Budget Qualité Recherche de l'Université de Paris XI ; de contrats avec le GREG (Groupe de Recherche sur le Génome) et sur les Actions Concertées des Sciences de la Vie, pour les recherches sur les détecteurs ; d'un financement Ultimatech (CNRS) pour la caméra per-opérateur ; enfin d'une AP de l'IPN sur le tomographe¹.

¹ Les détecteurs réalisés par l'équipe et leurs usages sont décrits dans la Partie V.

Au sein de l'IPN, l'équipe s'est peu à peu autonomisée et est reconnue par l'institution. Au début, présentée dans la partie Valorisation du Rapport d'Activité, et officiellement réduite à un service de détection, à la limite prestataire, l'équipe est à présent intégrée dans les "recherches inter-disciplinaires" depuis 1992, et son activité a été consacrée par des AP internes. Ayant participé à la création du groupe SQAD (Structure Quagma Détecteurs) en 1990, elle a un statut d'équipe à part entière dans le nouvel organigramme. Les physiciens de l'IPN commencent à savoir ce qui s'y fait (auparavant : *"ils travaillent sur des rats"*) et observent plutôt avec sympathie ces développements aux frontières de leur discipline que, bien que hors de leurs préoccupations, ils ne jugent pas illégitimes. L'équipe oeuvrant aux interfaces de la détection et des mécanismes biologiques, les infrastructures de l'IPN, les compétences électroniques, mécaniques, informatiques accumulées pour la physique nucléaire, ont joué un rôle essentiel de support pour sa technologie instrumentale ; tandis que les biologistes étaient sollicités pour leurs connaissances sur l'aspect cérébral : *"L'IPN donne peu d'argent et beaucoup de compétences, les Sciences de la Vie beaucoup d'argent et peu de compétences"*.

Pour confirmer sa bi-appartenance et sa pluridisciplinarité, l'équipe demande une double association, aux Sciences de la Vie et à l'IN2P3.

2.2.2. Evolution des thématiques

Les recherches en biologie moléculaire exploitent trois méthodes complémentaires : la cartographie des gènes, le séquençage automatique de l'ADN, et l'hybridation in situ pour repérer l'expression des gènes dans les cellules des tissus. Dès la fin des années 80, la technique de localisation de plus en plus précise par imagerie nucléaire de l'émission à partir d'une molécule marquée, a lancé des applications en biologie, et succédé aux techniques d'autoradiographie, liées à l'emploi de films ou d'émulsions. Les recherches de l'équipe l'ont conduite à concevoir et réaliser trois détecteurs à localisation, SOFI, SOFAS, et RIHR, adaptés respectivement aux trois méthodes de génétique, mais qui ont trouvé des applications dédiées, selon leurs versions, à différentes disciplines. (Cf. Partie V sur la valorisation).

L'évolution de l'imageur SOFI, qui utilise les fibres optiques scintillantes mises au point pour la découverte du boson intermédiaire au CERN repose actuellement sur une activité de "veille technologique" liée au programme LHC. Il en est de même pour le séquenceur SOFAS, concerné par les travaux d'optimisation des gels d'électrophorèse.

Sur la lancée des détecteurs, l'équipe est en effet engagée sur plusieurs thématiques distinctes, mais complémentaires. L'une porte sur des mécanismes de migration de l'ADN et de limites à la séparation en masse des brins dans les gels d'électrophorèse. Elle vise à améliorer les conditions expérimentales actuelles des techniques de cartographie des gènes (ou identification par blotting) et de séquençage, qui

limitent les performances des détecteurs nucléaires. Pour comprendre et modéliser les régimes de migration et les causes de l'élargissement des bandes d'ADN, la mise en oeuvre de nouvelles techniques de mesure adaptées a permis à l'équipe d'acquérir une expertise dans des technologies telles que le laser accordable, les systèmes optiques, la fluorescence et la chimie-luminescence. D'une part, aux frontières de la chimie, elle s'oriente vers l'utilisation de marqueurs chemiluminescents pour le blotting. Par ailleurs, aux frontières de la chimie-physique, des collaborations (FAST-Paris XI, Laboratoire de Physique de la Matière Condensée - Polytechnique, Groupe de Physique des Solides - Paris VII) sont nouées pour tester différents milieux poreux et trouver des gels supports présentant de meilleures performances que ceux couramment utilisés. Un modèle effectif de migration de polymères chargés sous champs est développé en collaboration avec un physicien statistique de la Division de Physique théorique.

Une autre voie de recherche s'inscrit dans la continuité du RIHR, et des études pour la caméra per-opératoire (projection en deux dimensions) qui a été "pervertie" pour faire des études cinétiques "petit champ". Dans le cas des neurosciences, à une échelle intermédiaire entre le niveau neuronal (microscopique) exploré par les techniques *in vitro* et *in situ* (RIHR), et le niveau macroscopique des études comportementales, il manque des moyens d'investigation moléculaire *in vivo*, capables de faire évoluer les modèles de mécanismes collectifs. L'étude et le développement d'un prototype de radio-imageur en trois dimensions (tomographe TOHR), permettant des études quantitatives, répond à cet objectif pour analyser les mécanismes cérébraux chez de petits animaux (expérimentations plus poussées que pour l'homme en neurobiologie) Très compétitif par rapport à son concurrent, la caméra à positons, le projet a obtenu un financement de deux ans sur AP. D'ores et déjà, l'ouverture de ce nouveau champ d'investigation cinétique pour les biologistes a suscité une demande d'application, avec une équipe de Lyon, pour l'imagerie *in vivo* du cerveau du rat, à l'aide d'une sonde intracérébrale, afin d'étudier des maladies neurodégénératives (modélisation de ce qui peut se passer chez l'humain).

Les orientations actuelles de l'équipe, partie de la différenciation cellulaire, marquent un regroupement autour d'un axe principal de neuroscience, avec maintien de quelques autres thématiques (neuropharmacologie, environnement ...). Un thème débute sur les problèmes de sensibilisation et de dépendance aux drogues. Progressivement, l'activité de l'équipe se développera pour intervenir comme physiciens modélisateurs de systèmes dynamiques en biologie.

2.2.3. L'évolution des thématiques, leur réagencement, sont liées à la composition pluridisciplinaire de l'équipe.

Partie de deux personnes, l'équipe a connu en quelques années un renforcement dû essentiellement à la création de postes, deux de maîtres de conférences obtenus l'un de Paris XI, l'autre de Paris VII, un poste d'électronicien donné par les Sciences de la Vie, de même qu'en 1994 un poste fléché de CR2 en génétique. Pour ce dernier, dont le

candidat avait fait une thèse mixte avec un laboratoire de Gif sur Yvette sur la neurotransmission, la procédure de recrutement a duré trois ans et a nécessité une évaluation mixte des Commissions 03 et 23, qu'il a fallu en outre convaincre du fait que des avancées en instrumentation –une optimisation technique pour les besoins de recherche fondamentale– relevaient bien d'une optique de chercheur.

A ces sept permanents (3 ES, 1 DR2, physicien reconverti à la biologie, 1 CR1, 1CR2, 1 AI), se joignent des semi-permanents (des enseignants étrangers) et cinq doctorants venus de DEA différents (physique nucléaire et des particules, chimie-physique, génie biomédical, physique des liquides....) de façon à ce que leurs formations soient complémentaires. Des thésards de biologie, venus des laboratoires qui travaillent en coopération avec l'équipe, sont également présents pour la partie détection.

L'extension de l'équipe a été limitée pour garder une petite taille assurant sa cohésion.

Le rôle du responsable initiateur, qui dirige également le DEA CPM (Champs, Particules, Matière), a été essentiel pour lancer une activité pluridisciplinaire, la promouvoir auprès de l'IN2P3 et la stabiliser sur des postes. Depuis, il a une fonction d'animation et de fédération des thèmes, d'interface avec l'IN2P3, de coordination avec les laboratoires qui constituent l'environnement de l'équipe.

La structuration du travail collectif s'appuie sur la délégation rapide des responsabilités et leur partage. Dès qu'un doctorant a passé sa thèse, il encadre une autre thèse, pour passer de l'idée à sa réalisation dans un autre domaine. Sur chacune des thématiques diversifiées, les membres de l'équipe ont des fonctions polyvalentes, chacun contrôle les différentes étapes du processus de recherche de son projet, prend l'initiative des contacts extérieurs et des partenariats, aussi bien qu'il a la charge des démarches administratives et financières, et du suivi de la valorisation. Les orientations de l'équipe se décident de façon collective.

2.2.4. Le processus de production de la recherche, et le fonctionnement organisationnel qui lui est lié, reposent sur une vision intégrée de la physique fondamentale et de la recherche appliquée, et un continuum de l'idée instrumentale à l'exploitation de ses résultats dans différents domaines.

Toute thématique est fractionnée en deux étapes, correspondant à deux thèses :

- une étude de faisabilité de l'appareil avec simulations
- le démarrage sur un prototype, puis la réalisation et l'application dans des expériences de biologie.

Mais d'une part, le principe d'un même appareil peut être étendu à des champs d'application complètement différents, par des changements incrémentaux, suscités par le dialogue et la collaboration avec des spécialistes d'autres disciplines (biologie, médecine, CEA pour la contamination nucléaire dans l'environnement, etc.). D'autre part, l'équipe illustre, dans sa démarche, le lien circulaire entre recherche en instrumentation et avancées instrumentales pour la recherche, donc ouverture de voies de recherche fondamentale par des alternatives techniques.

Ainsi, les appareils mis au point changent totalement les conditions d'expérimentation des biologistes : en permettant la rapidité et la fiabilité des résultats, et la quantification, ils ouvrent des programmes de recherche encore non explorés, et signifient une avance en terme de compétition scientifique.

Enfin, la démarche itérative recherche fondamentale/application, produit une structure en arborescence des thématiques : transformation de découvertes scientifiques en techniques productives, combinaison aux savoir-faire existants, adaptation et dérivation de techniques génériques en techniques spécifiques ou usages précis. La "demande", des biologistes par exemple, est prospectée et "révélée" par le dialogue avec les physiciens formés à la biologie, par l'explicitation des besoins techniques. Par rapport aux fluctuations de la demande, l'équipe doit faire preuve de flexibilité et de mobilité.

Chaque voie de recherche développée dans l'équipe évolue, s'étoffe et se redéploie en passant d'une thématique à une autre par l'instrument. A partir des imageries utiles pour la biologie, se produisent des ramifications de recherche pour résoudre des problèmes en amont de la détection : ouvertures à la chimiluminescence, à la caractérisation exhaustive du comportement des gels . . .

Après cette période d'éclatement des thèmes, un mouvement de regroupement et de recentrage s'opère, autour d'un axe de neurosciences auquel seront dédiés les nouveaux détecteurs. La configuration de cette évolution met l'accent sur l'importance de l'agencement de facteurs cognitifs diversifiés et de sa relation aux pratiques, dans un processus de production scientifique et technique pluridisciplinaire où les instruments sont des médiations. Les objets techniques sont des points d'aboutissement dans lesquels se cristallisent des savoirs, et ils représentent des points de départ autour desquels vont s'articuler des savoirs futurs : les connaissances scientifiques génèrent des techniques, mais les objets, par les types de savoirs qu'ils incorporent, orientent à leur tour les connaissances, selon les contextes de pratiques dans lesquels ils peuvent s'inscrire. On peut en tirer quelques éléments de comparaison entre modes de production de recherche, à partir des relations entre objet et moyens de l'investigation, et savoirs mis en jeu, qui aboutissent à des formes organisationnelles particulières, et à des modèles d'accumulation et d'avancées des connaissances différents.

2.3. Des différences de processus de production marquées par la finalité de la recherche

Le modèle d'accumulation des connaissances du groupe PNIL, s'inscrit dans la lignée d'un axe de recherche développé à l'IPN depuis sa fondation. Sur cette trajectoire, des avancées incrémentales sont issues des résultats d'une succession d'expériences sur une même thématique, chaque thématique étant subdivisée selon des spécialisations scientifiques individualisées, mais qui mobilisent un même champ de connaissances. Celui-ci est nourri de références à des modèles théoriques, et enrichi par les échanges entre expérimentateurs. La sélection des thématiques, les concentrations actuelles, prennent place dans un processus linéaire.

Le modèle d'accumulation de l'équipe "Interfaces Physique/ Biologie" s'appuie sur les atouts de la pluridisciplinarité. Au sein de l'équipe, se juxtaposent des chercheurs à savoirs diversifiés qui interviennent dans la pratique sur une thématique donnée en fédérant leurs connaissances et compétences. Le transfert aux autres membres de l'équipe des connaissances indispensables en biologie dans le cadre d'une problématique, est réalisé par des chercheurs à profil "hybride", combinant des formations en physique et en biologie. Ces acteurs-charnière, par leur maîtrise du langage des biologistes et leur connaissance du milieu, permettent la mise en commun de ressources de disciplines différentes, qui élargit le potentiel d'accumulation. L'appropriation progressive par l'équipe des bases de la culture biologique, les apprentissages inférés par chaque détecteur, s'opèrent dans un processus discontinu.

Ces disparités des processus de recherche relèvent en partie de rapports construits différemment entre connaissances et techniques, et de la relation de la recherche aux instruments.

Dans le cas de PNIL, la relation entre sujet de l'investigation et objets techniques utilisés, même si leur conception est intimement liée, revêt un caractère séquentiel, lié à la segmentation du processus de production entre fabrication de l'instrument, laboratoire et lieu d'expérimentation (cf. Partie III). L'équipe utilise des détecteurs de plus en plus souvent achetés à l'extérieur, mais seulement dédiés à une expérience spécifique. Ils ont donc un usage prescrit.

L'équipe "Interfaces Physique/Biologie" illustre le caractère interactif de la relation connaissances/techniques. S'appuyant sur l'infrastructure technologique et la culture en physique nucléaire de l'IPN, elle conçoit et réalise des détecteurs à partir de besoins mis au jour dans d'autres disciplines, mais l'introduction de ces outils dans des champs de pratiques diversifiés correspond à différents types d'innovations, programmes de recherche ouverts ou activités nouvelles. Ce sont des outils aux usages potentiels multiples.

On pourrait penser que ces processus s'accordent à des modèles culturels de la science différents, l'un, issu de la tradition européenne, ayant pour objectif la production de connaissances fondamentales, l'autre, modelé par la redéfinition des pratiques de recherche aux Etats-Unis, ayant pour enjeu une "capacité d'agir sur le monde"¹. Mais les pratiques rendent la réalité un peu plus complexe.

La médiation obligatoire des équipements lourds (les accélérateurs) qui structurent les développements scientifiques, les savoir-faire requis, dans la recherche expérimentale en PN, introduisent le risque que la maîtrise pratique des phénomènes prenne le pas sur leur "compréhension", leur signification dans un ensemble, une même expérience pouvant parfois vérifier des modèles explicatifs contradictoires dans leurs hypothèses.

L'équipe "Interfaces Physique/Biologie", inversement, réfute, en se référant à l'histoire des sciences, la distinction entre recherche fondamentale et recherche appliquée, mais revendique une interdépendance entre la recherche de connaissances objectives (attribut de la science) et la recherche d'efficacité (attribut traditionnel de la technique). Ses recherches sont finalisées par des besoins méthodologiques d'autres disciplines ou champs de pratiques à légitimité sociale, mais par le biais de ces applications, l'équipe revient à des recherches fondamentales "déplacées" par rapport aux recherches initiales, et à la compréhension de phénomènes.

III – Equipements/laboratoire/projets. Analyse de l'organisation de la production scientifique et technique à l'IPN.

3.1. L'ancienne organisation productive à l'IPN

A l'IPN, la recherche en physique nucléaire s'est développée sur un modèle traditionnel, avec un personnel diversifié travaillant sur des équipements locaux.

La pièce maîtresse de l'équipement de l'IPN a été longtemps, pour la recherche aux énergies intermédiaires, le synchrocyclotron, acheté en 1958 par F. Joliot au constructeur Philips. Démonté et transformé vers 1976 avec le montage d'un nouveau séparateur isotopique mis au point à l'IPN, il a fonctionné près de trente ans.

Envisagée dès 1956, la construction entièrement sur place d'un cyclotron à ions lourds (Alice-CEV) a abouti en 1965, et en 1970 un injecteur linéaire lui a été adjoint. L'IPN a ainsi développé une culture de conception et de construction d'accélérateurs.

1 D. Pestre, op.cit.

Le troisième équipement, l'accélérateur électrostatique TANDEM MP, opérationnel depuis 1972, a bénéficié d'améliorations techniques successives, permettant d'utiliser des faisceaux variés à plus basse énergie.

L'essor de la physique nucléaire, de 1955 à 1970 environ, a permis la montée en puissance de l'IPN, avec des embauches de 10 à 15% par an, le personnel culminant à 150 chercheurs et 400 ITA. La dynamique très forte de la recherche sur les accélérateurs a requis une organisation de production industrielle à l'IPN. Dès le début, et se développant au fil des années, ont été constitués de grands services techniques (mécanique, électronique, cryogénie, informatique, radioprotection, séparation isotopique, etc...), bien au courant d'une évolution technique souvent rapide, et sachant l'adapter aux objectifs poursuivis. Les fonctions techniques comprenaient donc la conception, la R/D, la construction, la maintenance, la conduite (54 conducteurs de machines travaillant en 3x8) et l'exploitation d'accélérateurs, la réalisation de détecteurs et autres dispositifs expérimentaux, la préparation et le suivi des expériences, le calcul scientifique. L'imbrication des fonctions scientifique et technique, leur développement conjoint, se sont appuyés sur la proximité géographique, la juxtaposition des compétences au sein de petites équipes de physiciens/techniciens collaborant en interne, sur des instruments conçus et fabriqués conjointement et localement. La localisation, les modes de travail, permettaient aux équipes d'opérer des "ajustements" sur les équipements des expériences au fur et à mesure de leur réalisation, sans planification préalable trop rigoureuse.

3.2. Une période charnière liée à une combinaison de facteurs qui modifient les conditions de production et de fonctionnement de l'IPN

Durant la dernière décennie, la conjugaison de facteurs institutionnels d'une part, liés aux avancées scientifiques d'autre part, a modifié en profondeur les conditions de production scientifique et de fonctionnement de l'IPN.

3.2.1. Alors que l'essor de la physique nucléaire s'était produit dans les années 50-60 au sein de normes institutionnelles favorables, et sous l'impulsion du développement du nucléaire militaire, la place très favorisée de cette discipline par rapport aux autres sciences est actuellement remise en cause dans la plupart des pays, pour rééquilibrer la répartition des ressources. On parle, sinon de déclin de la physique nucléaire, du moins de la saturation de certains champs (éclatement de la matière nucléaire par faisceaux stables, par ex.) et du développement de certains autres considérés comme fertiles, et surtout liés à des progrès de l'instrumentation, ou au passage à des domaines de hautes énergies proches de la physique des particules (question fondamentale du plasma quarks/gluons, par ex.). Parallèlement, en France, le CEA, partenaire traditionnel de l'IPN, s'est réorienté sur la physique des particules et l'électronucléaire.

3.2.2. Des mouvements d'équipes s'opèrent aux frontières de la discipline, avec la biologie, en radiochimie, en physique atomique, en astrophysique etc. L'interpénétration des disciplines est reconnue au niveau des autorités de tutelle (cf. rapport Charvolin), et la direction de l'IN2P3 favorise, au moins officiellement, les initiatives susceptibles de sortir la physique nucléaire de son isolement. Ainsi, dans le cadre de la mise à disposition des savoirs et savoir-faire de la science au service de la société, l'accent est mis sur la valorisation, la recherche d'applications d'utilité collective, les transferts de technologies vers le secteur socio-économique, l'implication dans des problèmes de société (déchets nucléaires).

3.2.3. Une mutation progressive s'effectue dans les modes de travail du "noyau dur" de la discipline à l'IPN. La physique nucléaire et corpusculaire est une "science lourde", qui exige une programmation à long terme, une coordination et une concentration des investissements sur des équipements très coûteux, de plus en plus conçus en utilisation partagée au niveau international. Il n'y a plus de réelle compétition des physiciens de la communauté européenne, mais coopération (GRAAL, par ex.), parce que les conditions économiques induisent que les européens ne puissent plus se permettre, même par rapport aux Etats-Unis, des équipements en concurrence ("*Il faut faire des coupes*").

Auparavant, l'IPN possédait trois accélérateurs : le CEV-Alice, qui a été à la base de l'essor et du succès de la physique des ions lourds en France, a été fermé en 1985. Les physiciens et techniciens travaillant sur cet instrument ont joué un rôle dans le développement du GANIL, et y poursuivent une activité (détecteurs LISE, INDRA, projet SPIRAL...), ainsi que plus ponctuellement sur SATURNE.

Le synchrocyclotron, arrêté en 1989, a été transféré au secteur médical (Instituts Curie et Gustave Roussy) et est maintenant exploité à des fins de protonthérapie pour traiter les tumeurs de l'oeil.

Reste, en fonctionnement depuis 1972, et pour quelque temps encore, le Tandem-MP (15 MeV) auquel de nombreuses améliorations techniques ont été apportées successivement, et qui permet d'accélérer protons, ions légers, ions lourds, et depuis peu des agrégats (projet ORION) tels les fullerènes, dont les C60 pour observer des réactions ions/matière ou plasma. S'il subsiste donc encore des recherches menées essentiellement "à l'intérieur" de l'IPN, la fermeture des machines locales a conduit les physiciens à affirmer leur présence sur les machines nationales (GANIL, SATURNE, ESRF à Grenoble) et à aller travailler sur des sites extérieurs : HERA à Hambourg, ensemble EUROGAM à Daresbury, AGOR à Groningen, SPS au CERN (Na38), transfert des

travaux de spectroscopie réalisés auprès du séparateur en ligne ISOCELE (Synchrocyclotron) sur ISOLDE au CERN¹.

Si les collaborations avec des laboratoires nationaux ou des équipes étrangères, sur le GANIL notamment, avaient déjà modifié les modes de travail, en constituant des équipes de taille beaucoup plus importante sur un projet, en structurant les manipulations en étapes, le passage sur les grands instruments internationaux, tant au niveau de la conception et construction technologiques que des expériences (500 physiciens sur un même projet), risque de s'avérer un échelon supplémentaire à franchir dans la mutation des modes de travail et la structuration du travail collectif. Or, après la fermeture prévue à court terme (1997) de Saturne, le CEA ayant décidé de désengager ses moyens financiers et humains, il est probable que le maintien d'accélérateurs nationaux pour la physique des noyaux (GANIL à Caen, SARA à Grenoble, Vivitron à Strasbourg), pour des raisons essentiellement de politique économique régionale, ne se poursuivra pas très longtemps encore. Ces fermetures d'équipements sont génératrices de tensions chez les physiciens nucléaires, en raison des reconversions forcées qu'elles impliquent.

3.2.4. Pour certains, l'intégration européenne conduit à une perte d'autonomie dans les orientations scientifiques. D'un côté, les physiciens se précipitent en masse sur des idées à la mode ("*panurgisme*", selon un de nos interlocuteurs, pour "*traquer le boson de Higgs*") ou l'utilisation de certains dispositifs (faisceaux de noyaux exotiques), à la suite des conférences internationales qui les réunissent annuellement. De l'autre, le NuPECC (Comité Européen pour la physique nucléaire) et les comités d'expérience des instruments, jouent un rôle fondamental, incitatif et sélectif des expériences, donc des voies de recherche. La nouvelle direction de l'IN2P3 –avec Claude Detraz–, en adoptant en 1992 un programme qui réorganise (et finance) les activités scientifiques et les développements techniques dans le cadre de quatre secteurs², a fait preuve d'un certain dirigisme pour concentrer les moyens, réduisant la marge de manoeuvre des directeurs de labos IN2P3 pour développer des objectifs intrinsèques. Mais si "*tout est géré d'en haut*", selon certains, pour d'autres chercheurs et ingénieurs "*tout part de la base*". Ce sont les physiciens qui créeraient les axes, les idées qui rassemblent suffisamment de chercheurs qui émergent en projets proposés et défendus devant le Conseil scientifique de l'IN2P3.

Les idées nouvelles, portées par un petit groupe, nécessitant un appareillage nouveau, reçoivent au départ une petite subvention, et se développent éventuellement,

1 Le budget de frais de mission distribué par la DRE est passé en quinze ans d'environ 500 KF à plus de 3000 KF.

2 - Les particules élémentaires
- La matière nucléaire
- Les construction des hadrons à partir des quarks
- Le rôle des particules et des noyaux en cosmologie et en astrophysique et la détection du rayon gravitationnel.

mais elles ne viennent jamais bouleverser l'ordre des priorités du laboratoire. L'IN2P3 "coordonne, organise, la direction scientifique de l'IN2P3 ne crée pas les axes". Elle est là pour "faire prendre la mayonnaise" entre les laboratoires. Les initiatives de l'IN2P3 porteraient alors plus sur des politiques propres, des interventions sur des programmes à pousser (par ex., recherche sur l'aval du cycle nucléaire, la transmutation des déchets), mais à partir de compétences déjà existantes, de problématiques qui plaisent, de techniques au point.

Il semble cependant que si l'organisation de la communauté scientifique en elle-même paraît dominée par des "modes" sur certains axes, la direction de l'institution tend à mobiliser ses forces sur quelques grands thèmes (cf. les séminaires de Giens), liés aux choix, pas obligatoirement purement scientifiques, de recherche et d'instrumentation européens.

3.2.5. Enfin, la politique de régionalisation mise en oeuvre, tant au CNRS qu'à l'Université, et celle de redéploiement des moyens de l'IN2P3 vers la province, ne joue pas en faveur de l'IPN dans l'allocation des ressources, financières et humaines. Les moyens en fonctionnement ont décliné, et si les autorisations de programme ont tendance à augmenter, la dotation de base diminue.

Sur le plan des effectifs, on remarque une quasi-stagnation du nombre des chercheurs (141 en 1995), et une forte diminution des ITA (345 en 1995, dont 316 ingénieurs et techniciens). L'IPN obtient en moyenne par an une entrée dans le corps des chercheurs (en général dans la Commission 03, PNC, mais parfois en Chimie ou plus récemment en sciences de la Vie, pour les équipes pluridisciplinaires), mais seulement un poste de maître de conférences tous les cinq ans environ, en raison de la rareté des postes en région parisienne.

La baisse sensible des postes d'ITA (2 sur 3 des postes TPN, corps en voie d'extinction, ne sont pas remplacés par des ITA), traduit les mesures de réduction des emplois publics et le transfert de postes sur les nouveaux équipements. L'activité des personnels de l'IPN s'exerce principalement dans trois métiers de base : informatique, électronique, mécanique, qui supportent des tensions importantes sur le marché du travail, ce qui rend difficile (moins cependant depuis quelques années en raison de la baisse des salaires industriels), le recrutement de jeunes ingénieurs dans le corps ITA face à la concurrence de l'industrie.

Le renouvellement, tant des chercheurs que des ITA, est donc faible, et l'IPN, malgré une recrudescence des recrutements sur les cinq dernières années, apparaît comme une structure vieillissante, facteur qui obère certainement une dynamique de mutation requise dans l'organisation productive.

3.3. Mouvement de complexification de la production scientifique et technique et nouveaux réquisits d'organisation

La structuration ancienne (expériences en petites équipes, proximité, grands services techniques, thématiques liées aux accélérateurs locaux) modèle-t-elle, et dans quelle mesure, la structuration nécessaire pour répondre aux nouveaux objectifs ?

Les objectifs de la physique fondamentale actuelle déplacent la production scientifique et technique sur des installations extérieures de plus en plus puissantes exigeant des techniques de plus en plus pointues (il y a une "frénésie de la technologie"), tandis que subsistent ou se développent des projets liés à des instruments et capacités internes. Il s'agit alors de préserver et développer le potentiel technique, à la fois pour réaliser les programmes IPN, et gérer la contribution propre de l'IPN aux projets nationaux et internationaux.

S'il n'y a pas vraiment de "rupture" dans la production technologique, la multiplicité et la variété croissante des objectifs se traduisent en une fragmentation de la structure technique de l'IPN, et dans une transition vers une autre organisation productive, dont les options restent encore ouvertes.

3.3.1. Des expérimentations qui restent centrées sur des petites équipes.

– Les programmes IPN sur équipements extérieurs sont assurés par des équipes (subdivision des "groupes de recherche") de 6-7 personnes, y compris des thésards, qui constituent l'entité réelle de recherche thématique. Ces équipes collaborent à des expériences qui regroupent 20 à 30 personnes de laboratoires et nationalités divers sur les équipements nationaux et jusqu'à 500 sur les grands accélérateurs tels HERA/DESY à Hambourg ou le LEP et le SPS au CERN. Si l'IPN reste le milieu d'appartenance, la recherche expérimentale s'effectue de plus en plus au travers d'un travail multi-sites, nécessitant des déplacements fréquents (100 jours par an/chercheur environ).

Une partie des ITA (39 en 1995), la plupart des jeunes embauchés, sont affectés à ces groupes et donc fortement couplés à leur travail. Ces "techniciens d'appui" participent peu à l'invention de détecteurs originaux ou autres dispositifs expérimentaux utilisés par leur groupe, qui est faite par les services techniques, mais, plutôt, à la partie "étude", à l'aide des logiciels CAO, aux tests sur le site avec les physiciens et les concepteurs des services techniques; ils font le montage (10 à 15 jours), le démarrage et le démontage, interviennent ponctuellement dans le dépouillement des données, leur rôle est celui d'interprète ou de relais entre les physiciens du groupe et les ingénieurs des services techniques, ou les industriels chargés de la construction de certains détecteurs (par ex. MUST pour le GANIL) et dont il faut suivre toutes les étapes de mise au point. Bien intégrés dans les groupes, ils se substituent d'une certaine façon aux ingénieurs et techniciens qui travaillaient autrefois en symbiose avec les physiciens sur les expériences

“internes”, mais sans en assumer l'intégralité des fonctions, la fonction technologique amont restant domiciliée dans les services.

Pour certains chercheurs, il n'y a pas de transition vers une nouvelle organisation de la production de la recherche, en dépit de la mobilité géographique obligatoire et d'expériences mobilisant un très grand nombre de chercheurs. On retrouverait le même type d'organisation qu'auparavant, subdivisée en sous-structures, en petites équipes spécialisées autour d'un objectif bien cerné, qui communiquent, échangent leurs résultats et participent à un ensemble qui se construit. Les principes de base de l'organisation productive ne changeraient pas, seuls changent les moyens, l'informatique par exemple, qui permet de visualiser et d'enregistrer directement les résultats en ligne, et les moyens de communication, qui rendent plus productifs. Mais sinon : *“on travaille comme du temps d'Einstein”*.

Si cette opinion d'une pérennité des modes de production de la "vraie recherche" n'est pas partagée par tous les chercheurs, elle ne peut en outre refléter la situation de mutation profonde à laquelle sont appelés les services et groupes techniques.

3.3.2. Une mobilisation des services techniques sur la R/D, qui demande des capacités accrues d'arbitrage.

Le potentiel technique de l'IPN, historiquement forgé, contribue largement aux projets d'équipements nationaux et internationaux, à moyen ou à long terme, tant pour la conception que pour la construction.

De la R/D à sa réalisation, un détecteur prend entre deux et six ans (par ex. le CMS ou Atlas sur le LHC, INDRA sur le GANIL), un accélérateur peut exiger une programmation sur 10 ans (LHC), puisqu'il s'agit d'un prototype.

Il faut distinguer la culture technique des accélérateurs de celle des détecteurs, les thématiques, les positionnements dans le processus technique ne sont pas les mêmes, et induisent parfois des appréciations différentes sur le développement technologique : la R & D accélérateurs se situe en amont de la machine, les détecteurs se situent en aval et sont indissociables de l'idée d'expérience, l'électronique est fournie pour des dispositifs expérimentaux spécifiques des physiciens, qu'ils travaillent à l'intérieur ou à l'extérieur de l'IPN.

– La R/D accélérateurs, structurée en “groupes techniques” (actuellement R/D Cavités supraconductrices (ex. SEEM), R/D Faisceaux exotiques, Source Ions Séparateurs, SELPO, etc...) dispose d'une certaine indépendance de recherche, même si, à une exception près, toutes les AP sont gérées par un responsable scientifique.

Dans la plupart des cas, lorsqu'un dispositif n'existe pas déjà dans le monde (sinon, les physiciens choisissent de faire ce que les ingénieurs qualifient de “copie bête”,

ou de leur demander une adaptation qui "transcende" l'objet existant), il faut construire un dispositif un peu original. Une prospection est alors faite auprès des ingénieurs instrumentalistes pour connaître leurs propositions et les solutions possibles dans le domaine, la décision sur la solution finale revenant au physicien responsable du projet, sans que l'on explore vraiment des alternatives.

Mais parfois, la R/D propose des développements "autonomes". Ainsi, l'actuel service SIS (Sources Ions Séparateurs) s'est fondé sur la séparation isotopique des noyaux radioactifs formés par réaction aux énergies intermédiaires, initiée par R. Bernas ; il a conçu ISOCELE, puis transféré une mise au point de cibles à ISOLDE au CERN, et évolue vers la création de sources d'ions, à la demande tant de la communauté scientifique internationale que de l'IPN. Il y a conception de transferts d'installations à d'autres demandes par analogie.

Autre exemple, l'ancien directeur, P. Lehmann, avait décidé d'affecter une petite partie de ses ressources à des développements purs de la technique, sans application immédiate. Il a donc demandé, en 1988, le développement d'un modèle de sources d'électrons polarisés, transportable, et implantable sur un accélérateur européen d'électrons de 15 GeV. En 1990, le prototype était créé par le groupe SELPO, très apprécié par l'ensemble de la communauté scientifique. Il a finalement été implanté sur le projet européen ELFE (anciennement TESLA), promu par le laboratoire DESY de Hambourg (qui est techniquement concurrentiel du CERN) : (*"les physiciens français ne sont pas pugnaces au niveau des négociations européennes, ils se font avoir"*).

La part du développement "autonome" possible par rapport aux demandes des physiciens, et à condition que les coûts humains et financiers soient faibles, est cependant minime.

– La R/D des détecteurs est plus récente. Leur conception est indissociable de l'expérience. Elle n'a de sens que si elle est étudiée en imbrication complète avec les physiciens, et pour les multidétecteurs, dans un travail commun entre mécaniciens (chambre à fils), physiciens, et électroniciens. L'électronique d'instrumentation se présente de façon modulaire. Les ajustements se font au niveau des prototypes, au cours de tests avec les physiciens, sur les accélérateurs.

Dans les projets européens, l'objet technique construit à partir du cahier des charges est essayé sur une manipulation, et là se joue la compétitivité. Si l'objet technique ne donne pas satisfaction par rapport à l'équipement, *"si la physique n'est pas juteuse"* selon une expression élocuente, le dispositif n'est pas retenu. Or le dispositif expérimental ne peut être conçu indépendamment de l'équipement sur lequel il est implanté, il est lié à son environnement, ne serait-ce que dans sa conception technologique, qui est "datée". Il n'est donc pas transférable à une autre génération d'appareillages, et lorsqu'un équipement est fermé, les dispositifs expérimentaux, même

conçus très récemment (cas de Saturne), ne sont pas réutilisables. ("*sur Saturne, l'électronique toute neuve va à la poubelle*").

Dans le domaine des détecteurs, l'obsolescence est très rapide, de même que dans l'informatique. La génération des multidétecteurs actuels n'a rien à voir avec celle des détecteurs antérieurs de cinq ans. Les ingénieurs doivent donc, par rapport à la demande, juger si, le temps de réaliser des détecteurs avec les moyens disponibles, ils ne seront pas obsolètes.

– Les projets de grands équipements, à moyen ou long terme, peuvent être distingués selon l'origine de la demande, et selon l'organisation productive adoptée.

Selon l'origine, la R/D peut se faire sur "projets internes" en collaboration internationale. C'est le cas de AGOR, SPIRAL, GRAAL...

Ou bien le potentiel technique de l'IPN est sollicité, pour s'intégrer dans la programmation répartie entre laboratoires de la conception et la construction d'accélérateurs internationaux. C'est le cas de ELFE à Hambourg, du LHC au CERN. La plupart du temps, les physiciens qui souhaitent participer à des expériences prévues en collaboration, proposent la contribution des compétences techniques spécifiques de leur laboratoire (cela devient une "monnaie d'échange"). Les physiciens n'ont pas d'idée précise des compétences techniques requises pour concevoir et construire les équipements, ils font de la surenchère. Puis les services techniques sont démarchés et mis en concurrence avec ceux des autres laboratoires de physique lourde, mais sur certains domaines (l'électronique des multidétecteurs par exemple) l'IPN est parmi les leaders mondiaux et en position de quasi-monopole.

Aux demandes sur ces grands projets, il peut être répondu par l'IPN selon deux modalités : les grands services techniques (le bureau d'études du SERM, et le département "Développements" du SEP) peuvent intervenir en R/D, et en fabrication mécanique et électronique.

Il revient alors aux services techniques d'opérer des arbitrages entre le court terme (les demandes ponctuelles des physiciens, les prestations de services pour l'environnement scientifique et industriel), le moyen terme (dispositifs expérimentaux), et le long terme (grands équipements).

Les demandes ponctuelles des physiciens portent souvent, par manque de crédits de fonctionnement, sur la fabrication en interne de pièces qui sont tout à fait accessibles commercialement. Ces services doivent alors détourner les demandes vers le marché ou avoir recours à la sous-traitance, dans une proportion à peu près stable depuis 10 ans. En cas d'appel à la sous-traitance, le service prend à sa charge une part de la différence entre la facturation industrielle et la tarification interne.

Les prestations de service à l'industrie et aux autres équipes scientifiques se limitent en principe à la conception d'instruments. Le passage en industrialisation s'opère, sous licence, à partir de prototypes, par exemple les détecteurs pour l'aviation civile fabriqués par Schlumberger, mais en gardant un aspect collaboration. Dans le domaine de l'électronique, le nombre de licences (11 actuellement en exploitation, dont trois réellement activées) diminue, en raison de la spécificité de plus en plus forte des " tiroirs ", liés à une manipulation particulière, qui les rend non transposables dans l'industrie. Cette évolution constitue une bifurcation de la production électronique " high tech " vers des applications exclusives à la recherche fondamentale, divergentes des standards industriels. Il arrive cependant que les services, à la demande de laboratoires extérieurs (GANIL par ex.), acceptent de reproduire en petite série des dispositifs ou pièces fabriqués en prototype.

Les " opérations moyennes ", internes ou externes (350 KF à 1MF), telles ORION pour le TANDEM, INDRA ou MUST pour le GANIL, menées très souvent en collaboration, représentaient jusqu'à présent l'essentiel des interventions des grands services techniques, depuis la fermeture des accélérateurs locaux. Ils étaient source de cohésion d'équipe entre physiciens et techniciens, maintenaient la dynamique d'un véritable travail collectif (fabrication des chambres à fils, etc.).

3.3.3. Vers une rupture dans l'organisation productive de la technologie, liées aux " grands projets ".

Les grands services s'orientent actuellement vers un plus petit nombre d'opérations (de 30 à 40 simultanées auparavant à pas plus d'une dizaine) et vers une participation croissante à des " grands projets " en collaboration, sur le long terme, très stimulants, mais supports de beaucoup de risques techniques et de fortes contraintes financières et organisationnelles. La durée de l'investissement technologique s'allonge, ainsi dix ans pour la R/D et la construction du LHC. Le changement d'échelle de cette orientation exige de réduire les prestations de services, et de dissocier encore davantage conception et industrialisation, la reproduction en série de pièces, et même les tests, pouvant être délégués à la sous-traitance.

- Des groupes " ad hoc " au " Service R/D accélérateurs "

Depuis quelques années, l'organisation productive sur les " grands projets " repose sur la constitution de " groupes ad hoc ", qui " ponctionnent " les groupes et les services techniques (mécanique, électronique, informatique, etc.), et les équipes de recherche, pour mobiliser la main-d'oeuvre nécessaire, sous la responsabilité d'un chef de projet scientifique. Ainsi a été fondé, en 1987, le service devenu depuis " R/D Faisceaux exotiques ", qui rassemblait à l'origine une quarantaine de personnes pour construire le cyclotron cryogénique AGOR, transféré en 1994 au KVI de Groningen. Le

potentiel technique élevé ainsi regroupé, les compétences accumulées ont servi de base pour, dans le prolongement, recomposer, avec quelques suppressions et adjonctions de spécialistes, un groupe d'une trentaine de personnes avec mission de créer et tester un nouvel équipement, un cyclotron pour le post-accelérateur SPIRAL, en coopération avec GANIL et le CEA.

A l'IPN, le projet est morcelé en sous-projets relativement autonomes, pris en charge par des ingénieurs responsables d'équipes. Les actions sont, dans ce cas précis, ventilées entre équipes par le responsable technique du projet, adjoint au responsable scientifique, mais leurs attributions respectives ne sont pas toujours claires et les lignes hiérarchiques s'entremêlent également avec le GANIL où officie le chef du projet SPIRAL. La partie "étude" étant à peu près achevée pour SPIRAL, au bout de 18 mois (passage à la phase de tests, calculs théoriques pour la dynamique des faisceaux, construction sous-traitée pour la plus grande part), le bureau d'études est passé sur le projet LHC du CERN. En effet, dans un accord conclu en février 1996 entre le CNRS, le CEA et le CERN, la France s'est engagée, en tant que pays hôte du CERN bénéficiant à ce titre de retombées économiques, à construire certaines parties de l'accélérateur, alors qu'elle n'était impliquée jusque là que dans la construction des détecteurs.

Pour le LHC, "l'apport en nature" des services techniques de l'IPN se substitue à une cotisation financière accrue de la France au CERN, demandée au Ministère des Affaires Etrangères. Celui-ci a sollicité d'office un engagement en travail, de 100 années/homme chacun, au CEA et à l'IN2P3. Pour l'IN2P3, le directeur technique (fonction nouvelle) a en charge la répartition et la coordination entre les différents laboratoires. A l'IPN, est échu essentiellement, en raison de son potentiel, des investissements techniques, en collaboration avec le LAL et le LNS :

- La thermométrie basses températures et le diagnostic de faisceaux, partie assurée par le service "R/D Cavités supraconductrices" ;

- Une partie engineering-montage de sections droites courtes (SSS) de 400 ensembles cryogéniques sur l'accélérateur, à concevoir et réaliser (en collaboration et sous-traitance) par le bureau d'études (dont les deux ingénieurs responsables viennent du service mécanique) du groupe "R/D Faisceaux exotiques". Ce travail ne constitue pas, selon le responsable, une avancée technologique novatrice ("*ce n'est pas révolutionnaire*"), mais de l'engineering de haute technologie, avec augmentation de performance. Bien qu'assimilable à un processus industriel, il ne pourrait pas être fait par l'industrie, en raison de l'accumulation de connaissances et de savoir-faire spécifiques d'un potentiel de haute technologie qu'il requiert.

- Le troisième volet de la participation de l'IPN au LHC, en collaboration cette fois avec les laboratoires de Nantes et de Clermont-Ferrand, est une partie du 3e macro-détecteur, Alice, qui mobilise à la fois la R/D du service électronique et celle du service

mécanique (participation pour 10.000KF du SERM). Pour ce "taxage" de ses forces, l'IPN bénéficie de la part de l'IN2P3 d'un apport de six postes en CDD, non transformables. Ce macro-détecteur, qui sera installé sur le LHC de façon définitive et utilisera ses faisceaux d'ions lourds ultra-relativistes, servira de support à une expérience (600 physiciens) sélectionnée pour l'expérimentation. Ce sera la seule partie scientifique de l'IPN, qui permettra d'avoir quelques retombées en physique nucléaire d'un investissement technique en physique des particules.

Sur ces plans, les exigences du CERN supposent de très fortes contraintes techniques et financières. Le passage aux grands accélérateurs, la distance et la multiplicité des intervenants, oblige à changer les méthodes de travail ("*fini le folklore*"). La confrontation internationale à d'autres équipes de haut niveau (DESY, CERN) relativise les performances, évite les redondances. Elle contraint à adopter des normes¹, une standardisation des tâches, des procédures de transfert de connaissances et des opérations effectuées, une distribution claire des responsabilités, un suivi strict du cahier des charges, des modes de coordination précis. En bref, après le "saut technologique" en électronique du milieu des années 80 effectué avec le passage aux ASIC, il s'agit d'opérer un "saut qualitatif", vers une organisation du travail plus rigoureuse, fondée notamment sur l'irruption de l'informatique dans toutes les phases de conception, simulation, et même fabrication. Ainsi le CERN va imposer un plan "assurance-qualité" pour la partie "études" du LHC. Se dessinent alors une surdétermination par l'instrument des conditions collectives de la pratique, et un passage à une logique de contrainte gestionnaire.

Confrontés à ces pressions, les services et groupes techniques regrettent leur effritement dans une logique "projet", (quand elle ne se justifie pas dans une unicité de lieu de réalisation et dans un équilibre de composition du groupe, comme pour AGOR), et dans une dispersion de leurs forces productives dans les groupes de recherche en "techniciens d'appui", peu aptes, par isolement, à s'opposer aux sollicitations jugées parfois excessives des physiciens IPN. Beaucoup se prononcent plutôt, au lieu d'une organisation éclatée de techniciens "à disposition", en faveur d'une logique centralisatrice au-delà du laboratoire, d'un regroupement permettant une juxtaposition des compétences, plus de complémentarité, de mixage, une politique de ressources humaines (cf. partie IV) et une gestion du potentiel technique en fonction de la compétition internationale.

Dans différents laboratoires, dont l'IPN, l'IN2P3 pousse actuellement à la pérennisation de structures verticales spécialisées sur les projets. Une transition s'opère donc vers des "Services en R/D accélérateurs".

1 Par exemple, il faut passer aux normes de construction électronique européenne, qui sont radicalement différentes des anciennes.

3.3.4. Des besoins en organisation pour une efficacité industrielle de court terme et une accumulation de compétences de long terme.

Face aux nouveaux réquisits, l'organisation de la fonction technique à l'IPN est encore inadaptée pour le moment, la pyramide des âges et des qualifications défavorable, en raison des faibles formations initiales, le recrutement d'une main-d'oeuvre performante non assuré en dépit du récent renversement de tendance. Le fossé se creuse entre les besoins d'une physique de plus en plus difficile, et la formation et les potentialités actuelles du personnel technique nécessaire pour la mener à bien. Au lieu du continuum, revendiqué de façon incantatoire à l'IPN, entre les recherches en cours et les développements techniques pour préparer l'avenir, on constate plutôt, du fait de la subordination de la trajectoire technologique aux trajectoires de recherche, une carence d'anticipation, un désajustement des fonctions, qui engendre un bouclage : à la pointe de la technologie, les services techniques ne sont néanmoins pas en mesure de répondre, en temps voulu, et avec leurs moyens, aux défis lancés par les nécessités expérimentales d'avancées scientifiques virtuelles. Du moins, la rédaction du "Technical proposal" pour une partie du troisième macro-détecteur correspondant au projet accepté par le Comité scientifique du LHC, représente-t-elle, pour les services électronique et mécanique, sinon une proposition de solutions techniques crédibles, face aux exigences du CERN, qui n'augure pas des solutions définitives, mais avant tout un pari sur l'avenir d'avancées technologiques significatives¹.

Mais, au lieu d'une recomposition organisationnelle, on repère plutôt le délitement de la cohérence productive précédente. Les temporalités et les espaces d'action de la technologie et de la science, autrefois proches et imbriqués, tendent à se dissocier, les apprentissages organisationnels et relationnels deviennent obsolètes, en raison d'une inadaptation des formes organisationnelles modelées par l'organisation productive précédente (largement appuyée sur du "bricolage au coup par coup"), pour poursuivre avec rigueur des objectifs diversifiés.

En physique nucléaire et corpusculaire, l'encastrement des fonctions scientifique et technique existe de fait parce que la contrainte technologique est très forte sur une discipline expérimentale. L'analyse tendrait plutôt à déceler un glissement vers une articulation séquentielle de ces fonctions, mais en décalage, une distorsion émergente entre les avancées possibles du développement technologique et les pratiques de la recherche. Le processus de production scientifique et technique se construit en étant soumis au contrôle d'une fonction sur une autre. Le développement technologique n'est pas géré en lui-même, sa dynamique est modelée par la sélection des thématiques scientifiques, et par sa nécessaire incorporation dans des techniques au gré des renouvellements des grands équipements.

¹ Pour passer par exemple, d'ici 2005, de 1000 voies sur carte électronique (Eurogam) à 1M, à un coût de 50F/voie au lieu de 5000F actuellement

Une grande part des chercheurs n'auraient pas, selon les opinions émises dans nos entretiens, de vision globale de l'articulation recherche scientifique/avancées techniques. Le rythme propre des développements technologiques est souvent freiné, des filières sont abandonnées, en fonction de préoccupations d'orientations scientifiques ou institutionnelles immédiates ; les responsables scientifiques ne sont pas toujours conscients des retombées possibles, et beaucoup plus larges, d'un investissement technique à valeur cognitive, par exemple l'apprentissage de l'utilisation tous azimuts de lasers complexes ("*on sait que demain, on en utilisera partout*"), applicable à des cibles polarisées. Inversement, face au "bond en avant" des réquisits expérimentaux, l'anticipation des développements technologiques nécessaires est faible : il semble que, en dépit des prospectives et développements faits à l'IPN et au CEA, la direction de l'IN2P3 n'ait pas vu à temps, par exemple, que la cryogénie et la supra-conductivité allaient connaître un essor formidable dans les années à venir, et que la physique de demain serait basée sur elles. Le potentiel technique aurait pu être valorisé et préparé à affronter ces questions par la diffusion des savoirs de spécialistes de niveau mondial, à l'IPN, sur ces problèmes, au lieu de vivre sur les acquis.

Les avancées techniques sont soumises aux thématiques scientifiques, pourtant de plus en plus les orientations de la physique fondamentale sont éloignées des besoins collectifs.

On constate un déséquilibre actuel dans la partition traditionnelle du rôle de cette science entre progrès des connaissances et développement des applications, ou, pour reprendre la distinction de Canguilhem, les "opérations du connaître" et le "sens du connaître".

S'il y a un continuum à l'IPN du point de vue scientifique, se discerne une discontinuité d'un point de vue technologique. Cela est dû à la sélection des options techniques, à la mobilisation des forces, qui se font en fonction des voies d'investigation scientifique retenues dans un dispositif de définition de projets "en entonnoir", au lieu de maintenir un potentiel à éventail large, à l'aide d'une "veille technologique" sur un spectre de champs différents. On peut alors penser qu'on est, à l'IPN, dans un schéma de construction d'une "dépendance de sentier", d'une réduction du choix des possibles, d'irréversibilités. Des pans entiers de la physique ne sont pas investigués, parce qu'il y a un certain "suivisme" des courants bien positionnés, un manque d'originalité (nous citons l'avis de Pierre-Gilles de Gennes) ; d'autres champs pourraient être relancés ou investis, comme la fusion froide qui n'a pas été invalidée avec certitude en dépit du "scientisme" dont ont fait preuve la plupart des physiciens nucléaires, comme les avancées pluridisciplinaires pour le biomédical et le stockage et transmutation des déchets nucléaires. Ces alternatives mobiliseraient le personnel technique de l'IPN, comme l'a fortement motivé la participation (au début quasi-clandestine) à la mise en place et la maintenance du Centre de Protonthérapie d'Orsay.

La question d'un développement technologique "autonome" est objet de controverse entre les ingénieurs, instrumentalistes ou de spécialités, développant des points de vue différents selon la place qu'ils occupent dans la fonction technique –dans le processus de production scientifique et technique– en amont ou en aval des accélérateurs. Si pour certains, dont le travail est intimement lié à celui des physiciens, les ingénieurs et techniciens n'ont pas à prendre des initiatives sur des axes propres de R/D, pour d'autres, *"il faut laisser les techniciens fourbir leurs armes"* sur des objets, et gérer le développement du potentiel technique en tant que tel. L'ancien directeur, P. Lehmann, avait un peu initié cette politique, en créant des "écoles thématiques" pour les techniciens de l'IN2P3, et en laissant s'élaborer des projets techniques intellectuellement "indépendants", faisant place à l'inventivité, à l'exploration de voies technologiques nouvelles, non restrictivement finalisées.

Mais on observe une faible capacité d'innovation organisationnelle, au coeur de l'organisation productive de l'IPN. Les changements s'opèrent à la périphérie, et pas dans le noyau dur. Ainsi, dans l'équipe "Interfaces physique/biologie", la finalité commune d'innovation, l'objet de recherche "réel", construit les modes de coordination entre les différents intervenants, la vision des développements de la technologie repose sur une itération entre les fonctions (et non pas sur le mythe des physiciens d'une subversion de la discipline-mère par la technique).

Si l'on se situe actuellement dans une transition vers une recomposition du processus de production scientifique et technique, la condition d'une dynamique ne serait-elle pas de croire en la motricité propre de la technologie, d'organiser institutionnellement sa différenciation et son autonomisation, pour construire ensuite des modalités d'itération, de coordination et d'interaction entre les deux fonctions, scientifique et technique ? Il s'agirait alors de planifier les besoins de l'évolution de la discipline, en agençant ses deux composantes.

Dans cette conception de l'organisation, poursuivant un objectif dual de production scientifique et technique et de création de compétences, se pose la question d'une politique de ressources humaines.

IV – Savoirs, savoir-faire et organisation du travail

4.1. Ressources humaines et formations

4.1.1. Les ressources humaines de l'IPN se composent en 1995 de la façon suivante¹ :

– Les 141 chercheurs permanents sont répartis en deux divisions. La Division de la Recherche Expérimentale regroupe 95 chercheurs, dont 67 CNRS et 28 enseignants-chercheurs. La Division de Physique Théorique comprend 46 physiciens, dont 28 CNRS et 18 enseignants-chercheurs. Le déséquilibre des ressources en faveur du CNRS (2 chercheurs gérés par le CNRS pour un universitaire) tend à s'accroître, puisque le CNRS devient, depuis l'interruption du flux d'embauche dans les universités parisiennes, la seule source de recrutement régulier (un, ou parfois deux postes par an, sur une dizaine de candidatures présentées par l'IPN).

La répartition par grade (48 DR, 39 CR1, 8 CR2) reflète cependant l'insuffisance des entrées de jeunes chercheurs pour renouveler une institution marquée par le vieillissement : l'âge moyen des chercheurs est de 45,6 ans, 20% d'entre eux seulement ont moins de 45 ans, alors que près de la moitié a plus de 50 ans (chiffres 1992). Pour les universitaires, la pyramide des âges est encore plus défavorable : seuls 10% sont âgés de moins de 35 ans. La plupart des chercheurs sont issus des formations doctorales en physique nucléaire et chimie nucléaire des universités scientifiques de Paris et des laboratoires qui leur sont liés. Beaucoup ont séjourné quelques mois ou plus dans des universités américaines (souvent à Berkeley) ou canadiennes.

– Le potentiel technique est constitué de 345 ingénieurs, techniciens, et administratifs, relevant statutairement de trois corps différents : les ITA gérés par le CNRS, via l'IN2P3, représentent 57% des agents ; 13 ATOS (UPS) proviennent de l'Université de Paris XI, enfin 40% des agents, recrutés avant 1972, ont conservé le statut de TPN (Titulaires de Physique Nucléaire) après la création de l'IN2P3. Ce corps d'origine, géré directement maintenant par l'IN2P3, avait été créé en décalage de celui du CEA, et aligné sur sa grille de classification : les carrières des TPN sont donc nettement plus avantageuses que celles des ITA, recrutés depuis la titularisation des personnels CNRS.

Les qualifications du personnel technique sont très hétérogènes, relevant des BAP I, II, III, IV, VI et VII du CNRS.

4.1.2. Tant sur le plan démographique que sur les niveaux de qualifications, la situation des forces techniques de l'IPN pour faire face aux mutations technologiques

¹ Source : Tableau de bord de l'IPN n° 18, juillet 1995.

accélérées, et au saut qualitatif qu'impliquent les changements de méthodes de travail sur les grands projets, est critique.

Depuis 1975, le corps des contractuels a été mis en extinction, et les embauches se sont raréfiées avec un taux de remplacement de deux tiers seulement. Cette population est donc, comme celle des chercheurs, vieillissante (l'âge moyen était de 47 ans en 1992), plus de 40% des ITA-TPN ont plus de 50 ans, et le rajeunissement dû à un fort recrutement de jeunes ingénieurs et AI (pour les projets AGOR et EUROGAM) sur des postes libérés par des départs à la retraite est très récent. En 1992, 10% seulement du personnel technique avait moins de 35 ans¹.

En corollaire, et imprimée par les besoins en personnel du laboratoire à l'époque des accélérateurs locaux, la structure de qualifications est déséquilibrée, et quantitativement et qualitativement mal adaptée aux évolutions de compétences professionnelles nécessaires aux développements futurs : centrée approximativement pour moitié sur des catégories peu qualifiées, surtout concernant les techniciens les plus âgés, de faible formation², elle comprend insuffisamment d'agents de catégories intermédiaires (environ un quart d'assistants-ingénieurs), et surtout d'ingénieurs, qui ne représentent qu'un petit quart des effectifs (chiffres 1995. Annexe 4). Or les "petits métiers", s'il faut resserrer le potentiel technique, auront tendance à relever ultérieurement de la sous-traitance, et à être supplantés par des agents à compétences techniques plus avancées ; en électronique, le câblage traditionnel est appelé à décroître, tandis que se développeront les métiers du dessin d'implantation (circuits imprimés multicouches, composants montés en surface), et du câblage haute densité ; dans les ateliers de mécanique, les métiers de tourneur, fraiseur, ajusteur, se justifient actuellement par la fabrication de pièces en interne, mais le recours à la sous-traitance peut s'amplifier. Les nouvelles technologies de l'instrumentation feront appel à des qualifications jusque là inexistantes, techniciens du vide et de l'ultra-vide, frigoristes. Parallèlement, la prééminence des activités de conception mobilisera un potentiel d'ingénieurs et d'AI à compétences élevées et variées (par exemple, l'électronique exigera à la fois des compétences analogiques et numériques).

4.1.3. Outre les problèmes de conversion et recyclage des personnels en place par formation continue (cf. infra 4.2.), posés par ces transformations qualitatives, se pose celui du recrutement et de l'adéquation des formations existantes aux nouveaux besoins. Le développement des bacs professionnels offre un recrutement de techniciens comparable à celui antérieur des CAP. Pour les AI, le niveau DUT ou BTS, abondant sur le marché du travail, est satisfaisant pour servir de base à des adaptations par formation permanente. L'embauche des jeunes ingénieurs est plus critique, d'autant qu'une

1 Source : IPN - Rapport au Comité de Direction et d'Orientation Scientifique, Septembre 1992.

2 Après 8 à 10 ans de conduite, les conducteurs de machine sur les accélérateurs étaient réaffectés dans les services techniques centraux.

expérience industrielle serait souhaitable, et elle se heurte à la concurrence du marché du travail de l'industrie, cependant en déclin. Les contenus des formations des écoles d'ingénieurs sont souvent trop spécifiques, pour le CNRS, et inversement le CNAM, qui a produit nombre d'ingénieurs de l'IPN, notamment d'anciens techniciens en formation permanente dans les années 60-70, instruit actuellement des ingénieurs jugés "trop théoriciens", incapables d'inventer des solutions technologiques pour concevoir l'architecture des nouveaux appareils, couvrir à la fois la conception et la fabrication.

Actuellement, l'embauche d'ingénieurs à haut niveau de connaissances, et susceptibles de s'intégrer dans un mode de travail collectif, s'avère donc encore difficile¹, en dépit d'incitations de nature scientifique et d'autonomie dans le travail, généralement appréciées en contre-partie de l'insuffisante incitation salariale. Encore faudrait-il mettre au crédit du statut de l'IN2P3 le fait que, contrairement à la plupart des autres départements du CNRS, les règles de classification semblent strictement respectées : ainsi le recrutement des IE est fait au niveau IUP, ou très petites écoles d'ingénieurs, ou filières universitaires équivalentes, tandis que les diplômés des écoles d'ingénieurs alimentent des postes d'IR.

L'évolution des qualifications nécessaires en physique nucléaire, et particulièrement à l'IPN, repose donc essentiellement sur un effort soutenu de politique de création de postes d'ingénieurs ; sachant que, si les connaissances abstraites délivrées par les différents cursus éducatifs ne répondent qu'imparfaitement aux exigences de réalisations technologiques présentes et d'inventions futures, ces formations initiales ne sont que des potentiels, qui se concrétisent en compétences au sein du milieu scientifique et technique où s'accumulent et interagissent des savoirs et savoir-faire diversifiés, où se nouent des relations d'apprentissages.

4.2. Aspects cognitifs : constitution et transmission des savoirs et savoir-faire collectifs, gestion des compétences.

L'évolution des aspects cognitifs sera mise en perspective avec celle de l'organisation productive afin, en dégagant des "faits stylisés", d'en clarifier des étapes.

4.2.1. Création d'un espace scientifique et technique.

Depuis sa fondation, et pour son activité de recherche fondamentale, l'IPN a concentré des physiciens, des ingénieurs et des techniciens, à l'origine issus du CEA, et un important potentiel de haute technicité, progressivement constitué autour des outils particuliers à la physique nucléaire, les accélérateurs de particules et l'instrumentation correspondante, puis des moyens informatiques.

1 Cependant deux ingénieurs de recherche (Sup Elec et Polytechnique) ont été récemment recrutés en électronique.

L'agrégation de ces connaissances multiples et différenciées, les unes déjà hautement spécialisées, les autres plus génériques, mises ensemble à contribution, a formé une "base de connaissances" commune, mobilisable de façon encore polyvalente. A cette "base de connaissances", vient s'articuler une "base d'expérience", qui se construit progressivement à partir des métiers intervenant dans l'organisation, et les choix de spécialisation : la physique des énergies intermédiaires, la spectroscopie nucléaire, la physique des ions lourds. Cette "base d'expérience" conjugue des compétences complémentaires d'utilisation des savoirs théoriques fondamentaux, des compétences acquises dans l'expérimentation des activités, qui se développent par les apprentissages individuels réalisés au niveau des ateliers et au cours des manipulations, et des compétences collectives accumulées dans des routines et des normes intégrées.

La structuration d'un collectif, autour des équipements propres à l'IPN, s'appuie sur une forte communication entre parties prenantes au processus de recherche, facilitée par la proximité géographique, des transactions accélérées, une coordination fondée sur des adaptations mutuelles et des ajustements au coup par coup relevant d'un "bricolage" au fil des expériences.

Le laboratoire devient un espace d'accumulation de savoirs et de savoir-faire.

4.2.2. Spécification des ressources.

Au travers de l'apprentissage collectif, le laboratoire développe la spécificité de ses facteurs de production. Au fur et à mesure que les compétences progressent, il maîtrise des techniques de plus en plus pointues, et constitue des corps de spécialistes.

La densité de la formation continue, interne et externe (passage de techniciens par les écoles d'ingénieurs), permet une actualisation et une transmission des savoirs dans les services (exemple de la diffusion "sur le tas" de l'électronique analogique) ; les séminaires internes, les relations encore proches avec les théoriciens, participent de la circulation et de l'homogénéisation des connaissances.

Le continuum des segments d'activité du processus de production (conception et réalisation des équipements, idée d'expérience, fabrication des instruments, expérimentation, analyse et interprétation des données, avancées théoriques) est assuré par un large degré d'intégration au sein d'un même site.

Le travail s'opère en symbiose entre chercheurs et techniciens couplés sur quelques manip, en appui sur des savoirs tacites et des pratiques empiriques. Ces apprentissages constituent dans le temps un investissement spécifique, lié au caractère implicite des savoir-faire. Les objets techniques sont adaptés à des usages particuliers, correspondant à la spécialisation progressive du laboratoire. Le développement des

compétences est local, et obéit à une logique cumulative. La conséquence de ces processus est le haut degré de spécialisation de l'IPN, sur certains champs de recherche et de technologie, concrétisé par des avancées scientifiques sur les ions lourds et la structure nucléaire, et techniques en électronique, cibles et détecteurs. Sur certains de ces domaines, l'IPN parvient aux premières places.

Corrélativement, la spécification des ressources du laboratoire engendre des facteurs de rigidité : La composante tacite des savoirs incorporés dans les compétences les rend difficilement communicables. Du caractère localisé des apprentissages découle la non-codification des connaissances produites en interne, dont une partie des résultats est donc non transférable et redéployable, en l'absence de procédures de transmission organisées. Par ailleurs, l'internalisation de l'ensemble des éléments de production, dans un contexte de division du travail fondée largement sur une logique cognitive, ne relève pas seulement d'un avantage comparatif (le coût de la production), mais d'une indisponibilité sur le marché de biens substituables. En effet, l'hyperspécialisation des appareillages est un facteur de rigidité, dans la mesure où la délégation à la sous-traitance pose souvent problème aux services techniques, les pièces livrées trop standardisées devant être révisées dans les ateliers du laboratoire pour s'intégrer dans l'instrument final. Cette difficulté de coopération avec l'industrie est donc dissuasive d'une décomposition et externalisation d'une partie du processus de production.

4.2.3. "Ouverture" de l'IPN et incidences sur les savoirs.

Pendant plus de deux décennies, ressources cognitives internes et apports externes ont été capitalisés sur un même site, les manipulations et équipements locaux focalisant une fusion des savoirs et offrant le socle de leur dynamique conjointe.

Dans les années 80, se dessine, outre l'amortissement de l'existant, un changement des conditions de production de la recherche à l'IPN, qui se déploie dans deux directions, l'émergence de la pluridisciplinarité, et la migration croissante sur de grands équipements extérieurs. Les contours de l'identité laboratoire s'estompent, tant sur le plan disciplinaire que topologique¹.

L'internationalisation plus prégnante de la recherche et la démarche rationalisatrice de la politique de l'IN2P3 enjoignent à l'IPN de s'insérer dans une organisation globale autour de grands instruments communs. Cet éclatement de l'unité hors site et le développement des relations externes produisent un double mouvement de désintégration, horizontalement dans le "bloc de connaissances" auparavant agrégé, "verticalement" (si l'on se réfère arbitrairement à une conception hiérarchique linéaire du processus de production) entre fonctions et à l'intérieur même de ces fonctions. Ceci

1 Nous traiterons par ailleurs de l'ouverture sur la pluridisciplinarité (V).

conduit à un morcellement des corps de savoirs auparavant en proximité, qui tendent à évoluer désormais chacun le long d'une trajectoire propre.

D'une part, le champ scientifique est distribué entre équipes de la communauté, sans qu'il y ait de redondance, le développement des connaissances est réparti dans une organisation en réseau, et échappe ainsi inéluctablement au travail individuel ou d'une seule équipe. La concentration des chercheurs sur les sites d'expériences fait de ceux-ci des espaces internationalisés d'échanges plus vastes, d'élargissement des savoirs et savoir-faire empiriques, tandis que le laboratoire, devenu plus hétérogène, perdure en tant que lieu d'accumulation de petites équipes sur des axes thématiques spécifiques, qui participent de la construction à présent extravertie de "blocs de savoirs" en renouvellement. Chaque accélérateur sur lequel les chercheurs vont expérimenter leur idée possède des caractéristiques qualitatives propres, une gamme d'énergies, un genre de sonde, des sources et cibles, des détecteurs, qui lui sont compatibles, et il permet certains types d'expériences relevant d'un champ conceptuel homogène, où la compétence sur chaque ligne de recherche s'approfondit avec la pratique dans une démarche analytique. La segmentation des connaissances s'accompagne d'une plus grande intégration informationnelle entre petites équipes spécialisées et dispersées, le développement de l'informatique donnant accès à des moyens de communication plus rapides et efficaces.

En second lieu, l'accélération et la complexification des progrès techniques, la multiplication de la disponibilité d'équipements différents pour la physique nucléaire, opèrent un passage vers des processus de production diachroniques, constitué d'une séquence de phases articulées dans le temps, généralement dissociées géographiquement, et nécessitant des ressources humaines spécifiques à chaque phase.

La fonction technique se retrouve découpée selon les différentes étapes de la programmation d'une génération nouvelle d'équipements, et entre ces grands projets et la participation technique quotidienne aux programmes expérimentaux du laboratoire. Ses ressources sont mobilisées de façon différenciée selon les formations et les niveaux de qualification des personnels, en morcelant l'espace professionnel précédemment construit. Par rapport à la période précédente, il s'ensuit une rupture dans la continuité des savoirs, tant à l'intérieur de la fonction technique que inter scientifique et technique, que ne vient pour le moment pas combler une transmission organisée des connaissances nouvelles qui se développent indépendamment selon des voies diverses, ni de celles accumulées par l'expérience des plus anciens ingénieurs, qui vont partir à la retraite (par exemple, les chefs des services SEP et SERM). Cette rupture marque la fin de la qualification collective antérieure de l'IPN.

L'insuffisance de lignes de communication horizontales entre équipes et services, et verticales à l'intérieur des services techniques, sur les projets, limite les flux d'informations à de l'informel, et ne permet pas la construction d'une vision commune aux différents personnels des objectifs du laboratoire, et des résultats respectifs des

intervenants (en mécanique, "sauf pour les commandes externes où l'on voit le montage complet, les gens ne savent pas où iront les pièces sur lesquelles ils ont travaillé". "La plupart des chercheurs ne voient même pas les détecteurs qui sortent des services"). Alors que les rapports d'activité de l'IPN insistent sur "la complémentarité des développements technologiques, très souvent de pointe, et des recherches fondamentales qu'ils sous-tendent"¹, l'impression fréquemment ressentie est celle d'une évolution vers une certaine "coupure" des équipes techniques d'avec la recherche de l'Institut.

Cependant, en même temps que les savoirs s'écartent et se cloisonnent, l'importance des aspects combinatoires s'accroît dans le développement scientifique et technologique, la rationalisation du travail sur les grands équipements collectifs requiert une coordination des différents segments de compétences complémentaires, pas nécessairement situés sur les mêmes lignes hiérarchiques. Mais actuellement, en raison de la coexistence dans le processus de production d'une division cognitive et d'une division technique du travail qui ne coïncident plus au sein du laboratoire, les relations de coopération se définissent plutôt au niveau de chaque fonction des différents laboratoires concernés dans une opération internationale. La réintégration, au sein d'un même processus de production de connaissances au niveau de l'IPN, des fragments produits à l'intérieur des blocs de savoirs dissociés, exigerait de restaurer leurs interactions et d'assurer en dynamique leur compatibilité, c'est à dire leur capacité à progresser de concert, pour passer à une nouvelle phase de l'organisation productive, permissive à nouveau de création de ressources.

4.2.4. Actualisation et enrichissement des connaissances génériques, comme condition d'une nouvelle accumulation permettant d'assurer la création de ressources.

Si l'on se situe dans une étape de transition vers une organisation productive de la recherche en PN essentiellement basée sur le partenariat, qui recompose l'espace scientifique et technique de référence, l'IPN ne serait plus le seul lieu où s'opèrent la restructuration de ses objets scientifiques et techniques, et la réorientation de ses savoirs. Il devrait alors perdre de sa spécificité localisée pour à la fois faciliter la diffusion et la communication de ses savoirs et savoir-faire dans des cadres diversifiés de coopération, et pour accroître la formalisation de ses connaissances scientifiques et techniques encore imbriquées, en actualisant et enrichissant les connaissances génériques sur chaque bloc de savoirs ; ceci de façon à promouvoir des avancées cognitives dans des dynamiques autonomes, puis mises en complémentarité interne et externe par des modes de coordination en réseau, permettant d'anticiper l'avenir et de prévoir les possibilités de ré-emploi des personnels dans des thématiques scientifiques et technologiques alternatives.

Se pose alors la question des structures et des procédures vecteurs de ces apprentissages.

1 IPN. Rapport annuel 1990.

Outre les investissements bibliographiques, la mise à jour de connaissances des chercheurs de l'IPN s'effectue par des stages de formation continue (en informatique, électronique, par exemple) et par des conférences et séminaires internes ou externes, nationaux ou internationaux, allant des thèmes les plus précis de l'IPN (séminaires hebdomadaires de la DRE) à la conférence mondiale de la discipline, en passant par les journées thématiques du laboratoire, lieux de rencontre de tous les spécialistes du sujet pour échanger sur leurs avancées respectives, les conférences internationales sur des thèmes de physique larges, les workshops plus spécialisés. La présence de chercheurs étrangers séjournant plusieurs mois au laboratoire est aussi un véhicule important de flux de savoirs.

Concernant la fonction technique en physique, selon D. Pestre¹ *"Le développement de l'appareillage quitte le statut "d'à côté" bricolé de l'expérience pour devenir l'un des moteurs premiers du mouvement scientifique. Les objets techniques passent au coeur du processus de recherche lui-même et deviennent en eux-mêmes des objets d'investigation privilégiés. Stimulant la recherche expérimentale et théorique, ouvrant de nouvelles possibilités, ils sont aussi la "destination évidente" de ces nouveaux savoirs"*.

Autrefois, un grand nombre de problèmes technologiques étaient résolus empiriquement "sur le tas", sans analyse théorique (par exemple, en électronique, la question des perturbations ou parasites). A présent, il devient indispensable de s'appuyer sur l'accumulation des compétences internes, pour accroître la capacité d'absorption et d'utilisation des connaissances scientifiques et techniques externes disponibles, pour faire appel à des savoirs abstraits.

L'obstacle est dans la difficulté à trouver des formations disponibles sur les technologies de pointe (ultra-vide, supraconductivité, cryogénie...), intégrant les dernières avancées. Les préparations dans ces domaines sont encore inexistantes à l'Université, tant pour la recherche que pour l'industrie (par exemple, pour des techniciens du vide, des ingénieurs frigoristes etc.). En électronique, à l'initiative d'ingénieurs de l'IPN confrontés à ce problème, et qui avaient d'abord fait appel à une entreprise de formation issue de Merlin-Gérin, se sont montés des stages de formation continue à Gif s/Yvette, ouverts aux électroniciens de l'IN2P3, mais aussi du CEA, du secteur privé. Cette formation enseigne une vision radicalement nouvelle de l'électronique, notamment pour le câblage des accélérateurs, et bénéficie des innovations qu'avait faites le service de l'IPN pour fabriquer les cartes prototypes des multidétecteurs EUROGAM, puis INDRA.

1 D. Pestre, op. cit.

Mais cette formation, due à la position mondiale de premier plan de l'IPN sur ce corps de savoirs, est une exception.

Il appartiendrait donc à l'IN2P3, pour avoir une véritable politique de gestion des ressources humaines, de concevoir des formations, permettant les investissements cognitifs nécessaires aux progrès technologiques. Les "écoles thématiques" mises en place par P. Lehmann étaient une première étape dans cette voie, en donnant aux techniciens de l'IN2P3, dans les champs des techniques qui y sont développées, accès à "l'état de l'art" mondial, permettant à la fois de relativiser les pratiques de l'IN2P3, et de créer une communauté technique. Mais des formations, un recyclage régulier, doivent suivre pour transformer, via des compétences accumulées dans les laboratoires dans l'apprentissage collectif, les flux d'information en connaissances, et anticiper ainsi les compétences requises pour faire face aux échéances futures.

Plus largement, la sélection de techniques sur les projets amène à concentrer les ressources sur un nombre limité d'applications, à astreindre le potentiel technologique à des développements "captifs" des choix de thématiques scientifiques, conduisant à une normalisation et une standardisation dans une large part de l'instrumentation. Alors que, dans un environnement incertain, il semblerait préférable de préserver et élargir le choix des options possibles, de maîtriser une gamme de variété de technologies afin d'échapper aux irréversibilités, et rester compétitif en cas de bifurcation technologique.

Pour acquérir une telle flexibilité d'adaptation, mais au-delà favoriser une capacité d'innovation, d'initiative et de créativité, dans notre hypothèse où la création technologique et la production de ressources (notamment humaines) sont des processus simultanés, une véritable stratégie de valorisation du potentiel technologique pourrait être mise en place au niveau de l'IN2P3. Une "veille technologique" sur différents spectres de connaissances, et une évaluation des capacités spécifiques actuelles présentes dans les laboratoires, permettraient de projeter les profils professionnels futurs et d'élaborer des formations continues pour les obtenir. Ce qui implique que l'organisation IPN continue à poursuivre son double objectif de production et d'apprentissage, i.e. de capacité à s'approprier les progrès des connaissances scientifiques et techniques sans obligatoirement en inférer une concrétisation immédiate dans des instruments matériels.

L'infléchissement vers un modèle de production en collaboration pousserait l'organisation à se concentrer sur des blocs de savoirs stratégiques, en abandonnant ceux où la substituabilité par l'industrie est possible, mais à participer au niveau d'une communauté technique dont les contours restent à définir, à la construction d'un éventail suffisamment large pour croiser les apports de plusieurs blocs de savoirs.

L'ensemble de ces considérations sur les aspects cognitifs de la production scientifique et technique plaide pour des changements organisationnels dans la gestion du potentiel technique de l'IN2P3, et une nouvelle configuration de relations entre des

professionnalités distinctes, pour maîtriser leurs interdépendances et parvenir à une réintégration du travail.

4.3. Gestion des ressources humaines et organisation du travail

4.3.1. Si l'on considère l'ancien organigramme de l'IPN (cf. Annexe 5), la Division de Recherche Expérimentale s'y décompose en six groupes de recherche, qui se sont structurés au départ tant par affinités qu'autour de thématiques sur les accélérateurs de l'IPN, chaque équipement ayant une vocation scientifique particulière. Ces groupes, cristallisés "sociologiquement", sont restés très stables pendant une quinzaine d'années, tandis que chaque chercheur évoluait sur sa trajectoire propre, non pas de façon isolée mais au sein d'une petite équipe de 4-5 personnes constituant l'unité de base réelle de la recherche. Du fait de l'approfondissement des spécialisations de façon plutôt linéaire, un écart s'est creusé entre les savoirs et activités des équipes, et les groupes sont devenus scientifiquement très hétérogènes. Tandis que de plus en plus, les choix thématiques des chercheurs ont été contraints par le caractère collectif de la recherche, qui s'inscrit dans des collaborations avec les autres laboratoires IN2P3 ou étrangers. Pour atteindre une taille critique de l'équipe s'insérant dans la collaboration, des regroupements ponctuels sur les opérations de recherche, dont le cycle de vie en PN est d'environ 4 ans, s'effectuaient transversalement entre équipes de groupes différents. Les crédits de programme afférents à une opération étant attribués directement aux équipes destinataires et gérés de façon décentralisée sur une ligne budgétaire propre, la dispersion des membres de l'opération sur plusieurs groupes provoquait, d'un point de vue administratif, certaines difficultés de gestion financière et humaine.

Mais, en contre-point de cette autonomie des équipes et de leur continuité, le milieu scientifique de l'IPN se révèle peu mobile et relativement cloisonné entre groupes. Les déplacements thématiques des chercheurs ne sont jamais de grande ampleur. C'est donc sous l'impulsion des perturbations créées par "l'ouverture" de l'IPN, l'élargissement de la pluridisciplinarité, la fermeture des équipements locaux et l'accès potentiel à une pluralité d'équipements nationaux et internationaux concurrentiels, que se sont produits des changements structurels. On peut ainsi noter en 1990, en même temps que le groupe "Chimie Nucléaire" se rebaptisait "Noyaux, Ions, Matière", la création du groupe "Structure Quagma Détecteurs" issu de la fusion de six chercheurs venus du groupe PNIL, et de la partie Isocèle du groupe Physique Synchro-Isocèle, dissout à la suite de la cessation de fonction du Synchrocyclotron.

Actuellement, pour rationaliser cette organisation sédimentée sans grande cohérence thématique, la nouvelle direction de l'IPN et celle de la DRE ont entamé un processus de restructuration des groupes (cf. nouvel organigramme 1996, Annexe 6), en tentant de les faire évoluer vers sept à huit groupes en concordance avec les nouveaux axes du laboratoire. Dans la lignée de la programmation de la direction IN2P3 recentrant ses moyens sur quatre secteurs, la direction IPN s'efforce, sur ses domaines, de

promouvoir pour les dix ans à venir quatre grands axes scientifiques s'inscrivant dans la physique de grands équipements collectifs en achèvement ou programmés (la physique électromagnétique sur ELFE, les ions lourds ultra-relativistes et le plasma quarks/gluons sur le LHC, les faisceaux exotiques sur SPIRAL au GANIL, les noyaux super-déformés sur EUROGAM), et de concentrer les équipes sur quelques programmes-phares correspondants, mises à part les équipes pluridisciplinaires.

Cette entreprise a une double visée, scientifique et gestionnaire, les deux objectifs étant intimement liés dans une volonté institutionnelle. D'une part, il s'agit de réduire la dispersion thématique de l'IPN en fonction des voies privilégiées par la direction IN2P3, d'autre part de reformater les groupes selon des impératifs temporels –la durée des programmes– et géographiques –la localisation des collaborations sur une nouvelle génération d'équipements à vocation internationale, en créant les conditions de leur pilotage au moyen des crédits de programme. Désormais, les AP devraient être utilisées pour structurer des collectifs de travail ; elles seront principalement attribuées à des responsables de groupes thématiques, dont le rôle se verra renforcé en raison de l'homogénéité nouvelle du groupe, tant sur le plan de la représentativité globale des intérêts de celui-ci dans le Conseil de Division, que sur celui de l'animation scientifique. Les responsables de groupe occuperaient alors une fonction-relais, qu'ils n'avaient pas jusqu'alors, dans le dispositif de politique scientifique et de définition de projets. On peut interpréter cette restructuration comme l'amorce d'une organisation de l'IPN sur le modèle des "groupes d'expériences" des laboratoires IN2P3 en physique des particules, mobilisés sur un grand équipement, le plus souvent au CERN, pour tout le cycle de production d'une expérimentation (une dizaine d'années), et dont les chefs sont les interlocuteurs de la "collaboration" européenne et les garants scientifiques face aux comités de programme des grands instruments.

Cette introduction progressive du modèle de recherche de la physique des particules correspond à la fermeture, à la suite d'arbitrages du Ministère et de l'IN2P3, d'équipements officiellement considérés comme ayant épuisé leurs possibilités de recherches, et à une politique de regroupement des chercheurs sur un plus petit nombre de sites expérimentaux, donc sur des physiques déterminées au niveau européen.

Cette mutation, qui n'en est qu'à ses prémices, implique des mobilités thématiques et géographiques de certains chercheurs, suscitant des résistances. Ainsi faudrait-il au moins une vingtaine de chercheurs pour constituer un groupe LHC, alors que cinq seulement ont fait une déclaration d'intérêt. Les physiciens des énergies intermédiaires travaillant sur Saturne sont incités, à partir de 1997, à aller à l'ESRF à Grenoble et à s'impliquer dans le projet ELFE (création du groupe PHASE Physique Hadronique avec Sonde Electromagnétique). Certains groupes anciens se perpétuent, tandis que d'autres sont amenés à se scinder pour reconstituer des entités de recherche en adéquation avec les axes des grands projets, et dans lesquelles la direction souhaite attirer des théoriciens de la DPT pour une collaboration plus réelle et approfondie.

Les modalités de coopération entre petites équipes vont donc changer ; relevant auparavant de leur initiative autonome, elles seront davantage soumises à des règles de fonctionnement impulsées par la programmation sur les grands équipements, et à une logique gestionnaire.

4.3.2. Structurellement, le personnel technique se répartit en services et en groupes techniques.

Les grands services, découpés historiquement, s'inscrivent dans des modèles organisationnels liés aux types de savoirs mobilisés, un modèle de physique traditionnelle pour la mécanique, un modèle de physique moderne pour l'électronique, pour ne parler que de ceux que nous avons enquêtés.

Le Service des Etudes et Réalisations Mécaniques (SERM - une trentaine de personnes) se subdivise en un bureau d'études, un service IAO/CAO, un atelier de mécanique générale, un atelier des détecteurs, un groupe "péri-mécanique". La mécanique est un travail collectif, mais avec une division des tâches rigoureuse¹, sur une large gamme d'activités menées par des personnels très hétérogènes. Ceci peut expliquer une direction très centralisée, administrativement et techniquement, seule détentrice de l'information sur les projets qui démarrent, et de la gestion des affectations. L'absence de relais suffisants entre la direction et les personnels, lignes de communication verticales et réunions de service, donne trop peu de visibilité aux objectifs du service pour susciter une forte implication des techniciens et ouvriers sur les projets, et laisse place aux circuits d'information informels. Soumis à des contraintes d'entreprise privée (prix, délais,...), le service est géré sur ce mode depuis 1975, avec prévisions du travail en interne et en sous-traitance et facturation des interventions.

Sur le plan des ressources humaines, le SERM est le plus vulnérable aux mutations de l'organisation productive. Science majeure à la fin du 19^e siècle, la mécanique a été supplantée actuellement par l'informatique, et son approche a évolué du goût de l'architecture et la fabrication des machines, vers la conception de supports pour l'intervention d'autres sciences, à réaliser avec des procédures très qualitatives ("salles blanches"). Ce mouvement peut conduire à un élagage du métier à l'IPN, et à une disparition d'une partie des ateliers au profit de sous-traitants.

Le Service d'Electronique Physique (SEP, 44 agents) comprend un département Fabrications subdivisé en petites unités (câblage, réseau, implantation de circuits imprimés en IAO/CAO, CMS, cellule de documentation, achats et approvisionnements) ; un département Exploitation qui recouvre l'aide directe sur les accélérateurs, notamment

¹ Dans les ateliers, le travail est parcellisé, mais avec une relative autonomie de chacun dans l'accomplissement de ses tâches.

le tandem MP ; un département Développements qui regroupe les ingénieurs concepteurs en électronique analytique, numérique, et multi-détecteurs. Depuis les années 70, le service électronique a technologiquement beaucoup évolué tout d'abord avec l'implantation d'une électronique analytique des signaux bas niveaux, puis de façon accélérée ces dernières années avec l'utilisation généralisée de l'informatique dans la conception, la simulation, et la réalisation des cartes électroniques. Ainsi le dessin d'implantation des circuits imprimés multi-couches et des composants montés en surface se fait à présent uniquement en CAO; la câblage des CMS est réalisé automatiquement par un robot, unique dans les laboratoires français ; la conception de la carte prototype d'EUROGAM a initié le passage aux ASIC, une électronique de circuits hautement intégrés spécialisés, adaptée à chaque nouveau multidétecteur. En franchissant au milieu des années 80 cette étape des ASIC, le SEP a effectué un saut technologique et acquis le meilleur niveau mondial, il mettra cette compétence en oeuvre pour la construction du LHC. Les ASIC exigent une simulation informatique préalable, avant toute transmission au fondeur, il n'y a plus de droit à l'erreur, en raison des coûts très élevés (la carte prototype au germanium d'EUROGAM revenait à 120 KF).

De ce fait, le coût de l'électronique associée à un multidétecteur devient le poste principal, dépassant celui de la mécanique et de l'informatique. Les métiers de l'électronique s'avèrent indispensables dans les laboratoires IN2P3, parce qu'ils sont partie intégrante des développements expérimentaux en physique nucléaire.

Sur le plan de la conception des détecteurs, la collaboration est étroite entre électroniciens et physiciens. Les physiciens ont en charge d'inventer les détecteurs qui leur permettront de faire leurs expériences, mais réciproquement le choix de la technologie du détecteur induit une certaine thématique. Cette interdépendance fait que, sur ce segment de production de la recherche, aucune décision n'est prise isolément, les ingénieurs et techniciens des "Développements" électroniques, et pour les multidétecteurs les ingénieurs mécaniciens également, participent à la conception des instruments, au niveau des prototypes, et de même les tests sont effectués en commun.

Si jusqu'alors l'évolution technologique du service électronique a pu s'appuyer sur des formations acquises "sur le tas", en CAO comme en électronique analogique, le défi lancé à la physique des hautes énergies, mais maintenant aussi à la physique nucléaire, d'une capacité à développer une électronique intégrée, originale pour chaque nouveau projet, requiert une évolution vers des qualifications initiales plus élevées, et un effort de recrutement de jeunes ingénieurs et AI d'ores et déjà entamé depuis 1990.

La place des chefs actuels des grands services techniques traditionnels est prépondérante dans la référence au métier, aux savoirs professionnels spécifiques, des ingénieurs et techniciens de spécialités. Leur ancienneté et leur longue expérience accumulée en osmose avec les évolutions des services en a fait les dépositaires de leur mémoire et les représentants du patrimoine technique, tout autant que leur relation directe

aux différents personnels leur permet de visionner le renouvellement des ressources techniques et de leur agencement, et d'essayer d'impulser les changements requis. Mais l'un comme l'autre, à la veille de la retraite, devront être remplacés bien avant l'achèvement du LHC.

4.3.3. Certains ingénieurs et techniciens des services techniques sont affectés temporairement sur des "groupes de projet" (cf. 3.3.3), tels AGOR, SPIRAL, LHC, qui collaborent aussi avec les groupes techniques, pour la partie "étude et réalisation" de grands équipements, qui sont en production partagée entre plusieurs laboratoires, en fonction de leurs compétences reconnues. Dans ces projets très procédurés, les interventions des différents métiers sont programmées et distribuées entre les laboratoires, selon un ordonnancement piloté par un laboratoire maître d'oeuvre (DESY, GANIL, et surtout le CERN), qui jouerait le rôle de "firme-pivôt" dans un réseau centré. La mise au point de l'ensemble de l'appareillage des collisionneurs s'accompagne en effet de la création, au niveau européen, de structures d'organisation et d'information de type quasi-industriel, ventilant les activités entre laboratoires producteurs selon leurs spécialisations localisées, et imposant une programmation où la maîtrise des délais et des coûts est drastique. Cette rationalisation de la production de la recherche par une division du travail planifiée internationalement fait entrer les services techniques de l'IPN dans un univers à forte contrainte gestionnaire, elle leur impose d'intégrer des normes professionnelles encore éloignées de leurs pratiques dominantes, mais aussi de concevoir une autre organisation du travail, capable d'assurer une efficacité industrielle de court et moyen terme (pour la construction des accélérateurs et des macro-détecteurs) et une accumulation de compétences de long terme pour renouveler en temps voulu les ressources.

Cette organisation de coordinations à la fois verticales et horizontales, internes et externes, suppose de conjuguer une mobilisation productive sur projet, et la construction de professionnalités dans des structures stables. Une telle organisation relève, du point de vue du corps technique, d'un directeur technique, tel qu'il en existe un au LAL, ou au CPPM. A l'IPN, à un conseiller de la direction au démarrage du laboratoire, ont succédé une commission technique de coordination à pouvoir décisionnel, puis une instance de discussion purement consultative. Enfin, la nouvelle direction, qui en a choisi les membres, a créé un Comité de direction technique représentatif.

Actuellement, la responsabilité des "groupes de projet" en R/D ou des groupes techniques sur AP incombe, à l'exception du groupe sur les cavités supraconductrices, à des physiciens qui se sont spécialisés dans la conception et la construction des équipements de physique même si, pour la plupart, cette spécialisation n'est pas exclusive d'un continuum dans la recherche jusqu'à l'analyse de données. Leur fonction d'interface avec le projet pourrait s'apparenter au rôle-relais dévolu dans les laboratoires IN2P3 en physique des particules aux ingénieurs instrumentalistes, qui, au sein des "groupes d'expériences" assurent la coordination entre chercheurs expérimentateurs, ingénieurs de

spécialité et services techniques, autour de la réflexion sur l'instrument et la réalisation du prototype. A l'IPN, cette application hiérarchique du système de valeurs de la recherche académique à la gestion de la fonction technique entraîne un certain brouillage des catégories, mais s'il n'y a pas de compartimentalisation dans les relations, on peut constater une certaine tension autour de la capacité théorique et technique à inventer et concevoir des instruments originaux, qui devient un enjeu. Il existe en effet une très grande proximité entre ces physiciens expérimentateurs et la catégorie des ingénieurs qui, à côté des ingénieurs de spécialités (environ 60% de l'IPN), ont une palette de compétences beaucoup plus vaste et maîtrisent l'ensemble de la R/D accélérateurs. Cette ambiguïté dans les positionnements respectifs des physiciens et des ingénieurs sur les projets techniques, est renforcée, d'une part par le fait que l'aptitude à assurer des fonctions d'encadrement technique et à gérer des personnels, si elle est parfois réelle chez certains physiciens, n'est pas automatiquement garantie par leur formation ; d'autre part, par l'absence d'évaluation scientifique des ingénieurs, qui ne font pas de rapport d'activité, et sont finalement évalués en interne par le biais des physiciens.

L'organisation matricielle entre la "logique métier" et la "logique projet" est donc encore à un stade d'inachèvement.

Certains groupes, constitués sur une "logique projet" (tel AGOR) se pérennisent en R/D, en adoptant une structure à géométrie variable pour prendre en charge des projets successifs par glissement de personnels. Les conditions de symbiose qui ont présidé au bon fonctionnement du groupe initial (unicité de lieu, responsable unique et légitimé, communauté des méthodes, bonne connaissance réciproque des physiciens et des contraintes techniques des différents métiers, définition d'une structure technique précise déterminant des responsabilités "en prise"), ces conditions ne sont plus réunies, dans les grandes collaborations internationales, pilotées de l'extérieur, des projets d'infrastructures actuels. Le fonctionnement hybride du groupe laisse place à des recouvrements de compétences, des frontières d'attributions peu claires, une certaine perte d'efficacité.

La "logique métier" justifierait le maintien de l'intégrité des grands services techniques pour répondre par une masse critique à l'exigence de plus haute technicité, concentrer le personnel et le matériel IAO/CAO en réseau, pour le travail de conception et sur les logiciels de simulation, enrichir le potentiel par agrégation et maillage de compétences diversifiées, et renforcer les références de métiers. Cette concentration s'accompagnerait d'une recrudescence des déplacements ponctuels sur les expériences, et de détachements provisoires en missions sur les projets, et non pas des affectations dans les équipes de recherche ou des groupes de R/D stabilisés.

Dans la période de transition actuelle, se superposent des strates de formes organisationnelles modelées historiquement en fonction des processus de production successifs, mais qui restent achevées (par exemple, certains groupes techniques sont

rattachés sur l'organigramme à la DRE et d'autres aux services techniques). Il s'agirait dorénavant de délimiter l'aire d'activités propres de la fonction technique de l'IPN, et de procéder à un ajustement correspondant de sa configuration organisationnelle.

Le groupe de projet LHC devrait offrir l'opportunité d'acquérir des méthodes de travail nouvelles, conciliant structures de métiers et fonctionnement sur projet. Sur la partie de projet du macro-détecteur Alice pris en charge par l'IPN, un "coordinateur des interventions techniques sur les grands instruments", ingénieur électronicien, assure l'interface entre les physiciens qui ont soumis le projet au Comité Scientifique du LHC et les services techniques parties prenantes. Il joue le rôle de médiateur entre les métiers, au sein de groupes de travail, pour "traduire" les propositions du document du physicien en propositions techniques pour les services Mécanique et Electronique, et parvenir à un "technical proposal" par itération.

Mais le groupe devrait comprendre déjà une dizaine de chercheurs pour le projet LHC, alors que l'équipe scientifique LHC a du mal à s'étoffer.

Jusqu'alors, les interventions techniques des services de l'IPN sur les grands projets internationaux n'ont jamais été demandés directement par la direction de l'IN2P3, mais ont été soumises à l'accord de la direction IPN. Mais, avec la nomination d'un directeur technique à l'IN2P3, une nouvelle tendance pourrait voir le jour, se cristallisant à l'extrême dans la concentration en une division technique autonome des laboratoires, sur le modèle de l'INSU, ou au moins dans une structure de gestion technique, capable de "manager" le potentiel technique de l'IN2P3 en fonction de la compétition internationale, d'avoir une politique globale de gestion des ressources humaines pour le maintenir à niveau, et d'assurer une mobilité des grands ingénieurs entre les laboratoires. Dans cette évolution, la mise en place de "services R/D accélérateurs" dans plusieurs laboratoires serait alors une étape. Favorisant l'entité institution, cette politique reconstituerait un "espace professionnel" technique à une autre échelle que celle des unités de recherche, permettant une différenciation et une mise en compatibilité des fonctions scientifique et technique, pour construire une nouvelle cohérence de l'organisation productive de la recherche française en physique nucléaire et des particules. Une centralisation en un "pool" technique à la disposition de la direction IN2P3 est loin de remporter tous les suffrages. Les physiciens se prononcent avec force pour le maintien du potentiel technique à l'IPN avec "ouverture" aux besoins des autres laboratoires. Les positions des techniciens sont mitigées, favorables à une recentralisation, mais l'alternative d'une mise en commun des moyens logistiques et techniques au niveau du site Orsay-Saclay (IPN, LAL, CSNSM) apparaît souvent plus réaliste et efficace, sans être antinomique avec l'entité laboratoire IPN, "*construite par les physiciens*".

V – DES OUVERTURES VERS DES MISSIONS ELARGIES

Face à ce qui pourrait être qualifié de "noyau dur", mais aussi d'enfermement des missions de l'IPN, on peut regarder ce qui se situe aux "frontières" ou les zones d'ouverture vers ce qui serait des missions de la recherche élargies à la valorisation, l'interdisciplinarité, l'enseignement.

5.1. La valorisation à l'IPN

"Que ce soit dans le champ des compétences intrinsèques à la discipline ou de celles acquises au cours de la mise en oeuvre des techniques instrumentales, la physique nucléaire et corpusculaire possède un savoir-faire spécifique. Il appartient à l'Institut de mettre ce savoir-faire au service de la société, tant pour répondre à des questions concrètes que pour favoriser le transfert de technologies vers le secteur socio-économique" (Rapport IN2P3 1992-1993).

Une distinction doit être faite entre les transferts vers l'industrie résultant du développement des techniques instrumentales (valorisation industrielle) et les valorisations pluridisciplinaires correspondant à la mise en valeur des connaissances en physique nucléaire dans d'autres domaines, débouchant sur des collaborations, ou à la mise à disposition d'autres disciplines d'instruments et de technologies permettant de nouvelles approches de leurs objets d'étude.

La valorisation s'inscrit dans des dispositifs institutionnels. Le développement de certains matériels a donc bénéficié d'aides à l'innovation de l'ANVAR ou du MRT. Certaines activités visant le développement de techniques de pointe sont actuellement intégrées dans le programme Ultimatech du CNRS¹, d'autres recherches sont soutenues par des conventions avec l'ANDRA (déchets radio-actifs). En aval, le CMI intervient dans le dépôt des brevets pour le CNRS et l'établissement des contrats de licence. L'IN2P3 et le CNRS participent à la Société Pantechnik, cellule de valorisation et de vente dans le monde des réalisations techniques de l'IN2P3 (par ex., les sources d'ions connaissent un certain succès).

5.1.1. La valorisation industrielle

Le transfert direct d'instruments vers l'industrie pour leur commercialisation a pour principal débouché la recherche, fondamentale ou appliquée, en raison de la spécificité du domaine, mais quelques applications débordent néanmoins ce cadre.

¹ Par exemple, dans les recherches interdisciplinaires Interactions ions lourds/matière et surface, la construction d'un dispositif de "production de très gros ions multi chargés par une méthode d'électrospray et vide différentiel" ; ou le développement d'une caméra per-opérateur par l'équipe Physique/Biologie.

Le Service Electronique Physique (SEP) de l'IPN a depuis longtemps collaboré avec l'industrie dans le domaine de l'électronique associée aux détecteurs et l'acquisition de données (multispectral, discriminateurs, techniques de mesure de temps à l'échelle de la micro seconde, codeurs d'amplitude de signaux analogiques...). De tels signaux sont utilisés en spectrométrie de masse par temps de vol, en médecine nucléaire, en imagerie médicale ou en radio-protection.

Les licences d'industrialisation (royalties de 5 à 8%) sont cependant de moins en moins nombreuses, au nombre de 11 en exploitation actuellement, dont 3 réellement actives. Deux facteurs se conjuguent pour créer le ralentissement de la valorisation :

– les petites entreprises d'électronique nucléaire étaient très nombreuses et florissantes dans les années 60, au temps d'apogée du nucléaire. Elles ont disparu les unes après les autres, la dernière illustration étant la Société GANELEC, qui exploitait depuis 1990 deux licences de " tiroirs électroniques " du SEP. Le marché représenté par la physique nucléaire étant très insuffisant pour permettre aux industriels d'atteindre un seuil de rentabilité, il n'en reste qu'un en Italie (CAEN, entreprise fondée par d'anciens physiciens du CERN et du GANIL) et deux aux Etats-Unis (Lecroy et Orten), qui survivent grâce aux études développées dans les laboratoires.

– Depuis environ 1990, la réalisation des grands multidétecteurs comme les ensembles INDRA ou EUROGAM (1000 voies) a impulsé le passage à une électronique hautement intégrée, originale pour chaque multi-détecteur, basée sur un standard d'intégration verticale (et non plus horizontale) des modules électroniques dans des " tiroirs " qui sont spécifiques à chaque manipulation donc non-transférables à l'industrie. Ce choix délibéré constitue une bifurcation de la production électronique high tech de l'IPN vers des applications exclusives à la recherche fondamentale, divergentes des standards industriels, donc de la valorisation possible.

– Le Service d'Etudes et Réalisations Mécaniques (SERM) a procédé à des opérations de valorisation de spectromètres de masse, et de moyens de détection. Par exemple, la protection de l'Eurotunnel est assurée par des scanners à rayons X et gammas, la détection se fait par chambres multifils (invention de Charpak) très grandes, sous licence IPN. De même une exploitation est faite par Schlumberger pour fabriquer des détecteurs, utilisés à l'aéroport de Roissy.

Dans la même ligne, l'IPN est consulté ("très confidentiellement") par l'Aviation Civile sur les possibilités de méthodes nucléaires, non destructives, de détection d'explosifs, dans les bases aériennes. Un contrat d'étude a été conclu sur ce point avec la Société Pantechnik

– Les détecteurs à scintillation (cf. Valorisation pluridisciplinaire) conçus par l'équipe Interfaces Physique/Biologie, dont la conception a bénéficié d'une aide à l'innovation du MRT, peuvent être valorisés de façon industrielle.

Actuellement, la licence du détecteur à localisation SOFI, pour la cartographie des gènes, après une proposition de Packard Instruments (E-U), a finalement été achetée en 1990 (l'équipe a été incitée à donner la préférence à un groupe français) par une filiale de Saint-Gobain, la Société Quartz et Silice, pour en assurer la diffusion. L'entreprise dispose de deux prototypes, mais n'est pas passée à la production, n'ayant pas réuni les compétences nécessaires pour s'implanter sur le marché des biologistes. Avec ses performances, SOFI augmenterait pourtant considérablement la vitesse d'acquisition de données biologiques, et aurait dû s'imposer dans les laboratoires biomédicaux plus facilement que les détecteurs gazeux. Mais, après une latence de deux ans, Packard Instruments a sorti un appareil concurrent sous licence anglaise.

Le radio-imageur haute résolution (RIHR) est susceptible de valorisation dans différents domaines. Actuellement, seule sa version autodéclenchée appliquée à la biologie (Micro-Imager) est transférable à l'industrie. Elle est produite et distribuée par la Société Biospace sous licence CNRS (brevet et licence de savoir-faire) pour l'imagerie de coupes tissulaires, permettant de repérer l'expression de plusieurs gènes dans les tissus (applications en neurobiologie et en neuro-pharmacologie pour mettre en évidence l'action génétique de nouvelles molécules thérapeutiques).

Parallèlement à ce transfert direct de technologies à l'industrie, existent des transferts indirects par essaimage, activité d'expertise, etc., valorisations qui ne sont pas favorisées par l'IPN, au nom de sa vocation de recherche fondamentale, et contrairement aux injonctions officielles de l'IN2P3, mais qui constituent cependant des retombées de la recherche pour l'industrie. A ce titre, il faut surtout citer les activités de fabrication en sous-traitance, à partir de conceptions de l'IPN (par ex. la fabrication de "puces" électroniques par Thomson, les entreprises de mécanique, de cryogénie, de vide...), qui permettent à celles-ci d'acquérir des savoir-faire spécifiques, une "qualification", et de faire figurer à leur catalogue des réalisations pour la recherche en "image de marque". La collaboration avec les départements de R/D des industriels qui fabriquent des détecteurs (Cambera, Eurisys) leur permet, à partir des projets de détecteurs IPN, de développer des produits proches pour des marchés plus vastes. L'IPN génère donc des externalités par la mobilisation de sous-traitants ou collaborateurs.

Les domaines de l'IPN sont trop pointus et les marchés trop exigus pour qu'il y ait création d'entreprises, le seul exemple cité est celui d'une entreprise d'électronique (cf. Supra) par des chercheurs de GANIL et du CERN, alors qu'aux Etats-Unis se créent des entreprises sur les accélérateurs.

Les capacités d'expertise de l'IPN sont également "valorisées" gratuitement par les informations cédées aux industriels à leur demande sur des problèmes particuliers, mais aussi au travers d'activités de consultants ; ainsi un ingénieur électronicien ayant acquis des compétences spécifiques sur les perturbations, parasites etc. les utilise auprès d'un service technique de l'aviation civile.

5.1.2. Valorisation pluridisciplinaire

La place accordée à l'inter/pluridisciplinarité et aux formes de valorisation qui lui sont associées est intéressante par ce qu'elle révèle des enjeux d'ouverture scientifique à d'autres disciplines, et des marges de "jeux d'acteurs" au carrefour des trajectoires des laboratoires et des orientations du pilotage stratégique de l'IN2P3.

– Le cas le plus simple de valorisation est celui de la mise à disposition d'autres disciplines d'instruments ou de techniques de la physique nucléaire, soit par reconversion d'équipements existants, soit par la construction d'instruments, pour des applications.

Dans le domaine médical, une convention avait été signée en 1984 par l'IPN pour participer à la réalisation du cyclotron bio-médical MEDICYL, au Centre Antoine Lacassagne à Nice, valorisant ainsi les études entreprises sur l'injection axiale pour le projet de cyclotron supraconducteur AGOR.

A Orsay, le synchrocyclotron de l'IPN a été cédé fin 1989 au secteur médical (Instituts Curie et Gustave Roussy) dans le cadre du CPO (Centre de protonthérapie d'Orsay qui traite des tumeurs cancéreuses de l'oeil), avec détachement de quelques ITA pour le fonctionnement et la maintenance. A l'époque, ceux-ci devaient travailler au CPO "quasi-clandestinement", ils n'avaient pas le droit de publier scientifiquement sur leur contribution à ce transfert. Depuis, la valorisation biomédicale est devenue un "cheval de bataille" de l'IN2P3 pour son positionnement dans la société, un GDR a été constitué entre les départements PNC, SPI et Sciences de la Vie du CNRS, le CEA, l'Assistance Publique, et le milieu industriel (General Electric Medical Systems-France), chargé d'élaborer un projet d'accélérateur de protons à environ 200 MeV destiné à être implanté en milieu hospitalier à des fins de thérapie par protons des tumeurs malignes.

En ce qui concerne l'IPN, son engagement fait suite à un programme d'études pluridisciplinaires initié en 1991 au GANIL, prévoyant des expériences relevant de la physique, radiobiologie, biologie, en contact avec des radio-thérapeutes cliniciens : il s'agissait de mettre en évidence l'intérêt scientifique pour un nouveau mode de radiothérapie par faisceaux d'ions lourds stables et radioactifs, par rapport aux rayonnements conventionnels. Trois études sur les applications biomédicales des ions lourds au GANIL ont souscrit à ce programme.

D'aucuns pensent, à l'IPN, que Saturne, à Saclay, qui doit cesser ses activités pour la physique des énergies intermédiaires et être démantelé en 1997, aurait pu grâce à ses performances uniques au monde, être reconverti en vue de ces applications biomédicales, puisque deux synchrotrons semblables fonctionnent au Japon pour la cancérothérapie.

– Des ouvertures de la physique nucléaire et des techniques nucléaires sur d'autres domaines, résultent des collaborations et des recherches pluridisciplinaires liées à des transferts de compétences.

La physique des ions lourds est une illustration de ces extensions possibles : Dès le démarrage du GANIL en 1983, des activités pluridisciplinaires ont été prévues, puisque 10% du temps de faisceau sont réservés à des recherches autres que nucléaires, et une société a été créée à Caen qui utilise industriellement les faisceaux du GANIL, mais de façon très limitée.

La physique non-nucléaire avec des ions multichargés trouve de multiples valorisations dans d'autres disciplines. La mise au point de sources d'ions très épiluchés (type ECR ou CRYEBIS) pour la production de faisceaux d'ions lourds à GANIL, SARA, SATURNE permet de disposer de faisceaux d'ions très divers et d'énergies extrêmement variables, puisqu'ils peuvent être utilisés soit directement à la sortie des sources, soit après accélération. C'est le cas au GANIL depuis 1989, où les possibilités offertes de faisceau accéléré par un seul cyclotron sont pleinement utilisées par la physique atomique et par la physique des interactions particules/matière.

De même, au Tandem, une ligne a été aménagée en 1986 pour les études d'interactions ions lourds/plasmas. Dans le cadre des applications ions lourds/matières et surfaces aux études spatiales, l'IPN a conclu un contrat en 1988 avec le CNES pour trois campagnes annuelles sur le Tandem pour tester l'électronique spatiale à l'action des rayonnements. Ces expériences ont nécessité la création par l'IPN d'un dispositif spécifique. Actuellement, le CNES finance à 30% le fonctionnement du Tandem, en contrepartie de son utilisation pour l'étude de la résistance des matériaux au bombardement de particules (simulation des conditions extrêmes subies par les engins envoyés dans l'espace).

Pour la **physique des agrégats**, la première accélération de fullerènes sur le Tandem en 1992 a ouvert de nouvelles possibilités : l'accélération d'agrégats métalliques (or en particulier) et de grosses molécules organiques multi ionisées (le projet de source Orion a été implémenté en 1993) permet d'apporter une grande densité d'énergie dans un solide ou un plasma et d'étudier les processus qui en découlent.

Dans ce même cadre de recherches péri-nucléaires qui étend donc son influence à l'IPN, une voie instrumentale complémentaire avait été explorée il y a plus d'une dizaine

d'années par la même équipe (qui appartenait alors au groupe "Chimie nucléaire") et les services techniques. En octobre 1981, dans le cadre d'une ATP Transfert de technologie, l'IPN s'est vu confier la réalisation d'un ensemble expérimental de spectrométrie de masse par temps de vol avec désorption des molécules par ions lourds. Ceci a conduit à l'étude, puis à l'entrée en fonctionnement fin 1983 du spectromètre de masse DEPIL, mis à disposition à temps partiel des équipes extérieures à la physique nucléaire (biophysiciens, biologistes, chimistes), mais pouvant également servir de prototype pour un éventuel transfert vers l'industrie. Cette méthode de la physique nucléaire est par exemple appliquée aux phénomènes de désorption et de cassure en vol, et de mesure de leur masse par spectromètre, de molécules biologiques très fragiles. La technique a été depuis amplifiée et affinée avec le spectromètre SUPER DEPIL, dont le développement a été soutenu par une aide de l'ANVAR.

Des collaborations sont également nouées pour des avancées en **astrophysique**. A partir de 1990, la recherche de noyaux exotiques sur le GANIL fait émerger (comme à Darmstadt) des applications dans ce domaine. La mesure des sections efficaces de réactions nucléaires d'intérêt astrophysique intervient dans la connaissance des cycles dans la constitution de l'univers, et pousse les physiciens nucléaires vers des études à très basses énergies jusque là délaissées.

Sur le plan des détecteurs, l'exploitation du principe du radio imageur RIHR, dont les performances sont adaptées à des sources faiblement lumineuses, a été étudié pour équiper un détecteur embarqué sur satellite dans le cadre d'un programme sur le rayonnement cosmique.

Le groupe **Radiochimie** de l'IPN est impliqué depuis une dizaine d'années dans des recherches sur le traitement des combustibles irradiés et la gestion des déchets radioactifs.

En mai 84, à la demande du ministère de l'industrie et de la recherche, le CEA établit un rapport sur la séparation des actinides mineurs dans les déchets issus du retraitement des combustibles nucléaires irradiés. L'utilisation d'un accélérateur intense de haute énergie dans le cycle de combustible nucléaire avait été examinée au plan conceptuel dès les années 50. En annexe du rapport du CEA, le groupe Radiochimie fait le point sur les caractéristiques d'utilisation d'un tel accélérateur, pour la transmutation nucléaire de corps à vie longue contenus dans les déchets de haute intensité issus des réacteurs nucléaires. Il propose une étude de prospective pour dégager de nouvelles directions de recherche : adaptation des méthodes de spectroscopie optique vers l'identification des degrés d'oxydation des actinides, étude fondamentale des problèmes posés par le traitement des combustibles irradiés et la gestion des déchets radioactifs.

Ces directions seront poursuivies dans les années suivantes. A partir de 1988, l'IPN inscrit ces recherches sous forme de contrats dans le cadre des conventions entre

l'ANDRA et l'IN2P3, et l'équipe multiplie les études en relation avec la gestion des déchets radioactifs, particulièrement la sûreté des sites de stockage.

Parallèlement, l'équipe Physique/Biologie propose l'application en routine des radio-imageurs SOFI et RIHR pour la détection de radionucléides sorbés sur des échantillons de roche (migration de la radioactivité dans l'environnement).

La loi du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur les déchets radioactifs, témoignant de la préoccupation des pouvoirs publics, marque un tournant dans la mobilisation de l'IN2P3 sur des problèmes jusque là principalement dévolus au CEA. Après une mission exploratoire permettant d'identifier les thèmes de recherche susceptibles d'être abordés par l'Institut, les compétences présentes et les volontés pour les mettre en oeuvre, un Programme de recherches sur l'aval du cycle électro-nucléaire (PRACEN) était approuvé par le Conseil Scientifique en 1993. Il s'articule autour de trois rubriques :

- les études radio-chimiques liées aux conditions physico-chimiques de stockages en surface et en profondeur des déchets, et la séparation de certains radio éléments à vie longue ;
- les mesures de radioactivité dans les déchets et dans l'environnement ;
- l'acquisition de données nucléaires, et le développement des accélérateurs, pour la transmutation nucléaire.

Sur le premier thème, le groupe Radiochimie de l'IPN était donc actif depuis longtemps. Ses recherches sont à présent menées dans le cadre de collaborations (prestations de services ou coopérations scientifiques à plus long terme) avec l'ANDRA, la Direction du cycle du combustible (DCC) du CEA, la Département des études et recherches d'EDF, et plusieurs laboratoires européens (Karlsruhe, Varsovie, Moscou).

La priorité, soutenue par l'ANDRA, est donnée à l'étude du transfert de la radioactivité dans la géosphère à partir des sites de stockage, via les eaux souterraines.

Sur le second thème, l'équipe Interfaces Physique/Biologie encadre une thèse, financée sur bourse CEA/EDF, sur l'application du RIHR pour l'analyse dosimétrique par le biais de l'imagerie de la contamination radioactive fixée sur les organes des animaux.

S'agissant du troisième thème, la transmutation des déchets par accélérateur, qui resurgit aujourd'hui comme une voie nouvelle, l'IN2P3 dispose de compétences, et de moyens expérimentaux adéquats : l'accélérateur Saturne, ainsi que des détecteurs performants. L'IPN s'impliquera sur ce thème ainsi que sur la ligne alternative de recherche proposée par C. Rubbia (CERN) d'utilisation d'un faisceau de particules de basse intensité.

Dernier volet de la valorisation pluridisciplinaire, et qui mêle peut-être le plus étroitement recherche instrumentale susceptible d'industrialisation et mise en valeur de compétences en physique nucléaire dans d'autres domaines, on trouve les activités de l'équipe intitulée depuis 1992 "Interfaces Physique-Biologie"¹. Issue de la physique nucléaire des ions lourds, elle a développé des détecteurs à fibres optiques scintillantes (composants pour la recherche en physique des particules sur le LHC) ou imageurs haute résolution, applicables selon les versions dans différentes disciplines, principalement la biologie.

Les nouvelles méthodes issues de la biologie moléculaire ont permis de mieux analyser les mécanismes cellulaires. Les recherches de l'équipe ont doté successivement ces trois méthodes complémentaires de trois détecteurs à localisation appropriée : SOFI pour la cartographie des gènes, SOFAS pour le séquençage automatique de l'ADN, RIHR pour l'hybridation in situ. Ces détecteurs ont fait l'objet de brevets, leur difficile valorisation industrielle est abordée dans le premier paragraphe.

Dans sa configuration initiale, le RIHR était spécifique à son utilisation "biologique". L'étude en coopération avec le CERN d'un prototype de CCD intensifié auto-déclenché a permis une nouvelle version, d'abord testée en biologie pour le multimarquage (Micro-Imager), puis exploitée dans d'autres contextes (radiochimie, radiobiologie, géologie). Son adaptation a été prévue pour des études en astrophysique, et pour l'étude de la radioactivité dans l'environnement (cf. supra). En marge de ces valorisations scientifiques, l'équipe a réalisé en 1992, dans le cadre d'un contrat de collaboration industrielle (avec la Société Mécaserto), un système permettant d'analyser des prélèvements en bloc opératoire, pour la chirurgie en cancérologie. Les premiers résultats cliniques (Hôpital Saint-Antoine) ont confirmé le potentiel et l'intérêt de ce détecteur pour la communauté médicale, et dans une deuxième étape, l'équipe développe un projet de caméra per-opératoire (imagerie in vivo), financé par Ultimatech.

Outre ses contacts industriels, une caractéristique de cette équipe est son grand nombre de collaborations inter-disciplinaires. Sa pluridisciplinarité l'a tout d'abord marginalisée. Mais la reconnaissance de l'équipe au sein de l'IPN s'est cependant faite, progressivement. Il est vrai que cette normalisation doit beaucoup à l'essor de la pluridisciplinarité dans les programmes de l'IN2P3, qui pousse l'IPN à mettre à présent en vitrine les recherches, non plus marginales mais périnucléaires, qui apparaissent d'utilité collective.

¹ L'organisation du processus de production de recherche de cette équipe est analysée dans la partie II de la monographie.

5.1.3. Les obstacles à la valorisation et à l'interdisciplinarité

Ce panorama des opérations de valorisation, via le plus souvent des recherches interdisciplinaires (sections 19 et 23 du CNRS), pourrait donner à penser que le potentiel de valorisation de l'IPN est vaste, et qu'une détermination nouvelle incitée par les autorités de tutelle peut la faire progresser de façon substantielle.

On voit en effet se nouer autour de ces politiques d'ouverture à la fois des dynamismes "micro-locaux" et macro-institutionnels. D'une façon générale, les démarches de valorisation ou pluridisciplinaires sont implémentées sur initiatives individuelles, ou d'équipes, qui s'appuient sur la culture scientifique et technique du laboratoire. La direction IN2P3 vient conforter des projets déjà existants, qui sont en coïncidence avec le laboratoire (compétences, équipements . . .), et naissent le plus souvent de rencontres d'équipes autour d'un instrument. Mais des freins existent à cette dynamique.

Tout d'abord, les scientifiques européens restent très marqués dans leur démarche par une vision des produits de la science qui relèverait du "bien public". Ainsi, les valorisations industrielles seraient le fruit de transferts de long terme, par des mécanismes indirects qui n'ont pas à être programmés, les retombées économiques seraient induites mécaniquement, par les contrats passés avec l'industrie de pointe, généralement européenne, et le BTP.

Au-delà de cette position de principe, nous noterons deux types d'obstacles, l'un relevant des difficultés de transfert à l'industrie, l'autre de nature institutionnelle, l'ambiguïté de la position de la direction IN2P3 quant à la valorisation et la pluridisciplinarité.

- Concernant la valorisation des acquis de la recherche dans l'industrie, de l'avis général, *"ça ne se passe pas vraiment bien"*. Tout d'abord, les activités de la physique nucléaire sont très spécifiques, et trop éloignées des besoins économiques et sociaux, l'amplitude de l'éventail de leurs applications possibles est donc irréductiblement faible, recouvrant essentiellement l'instrumentation biologique et médicale, les résultats possibles des bombardements pour désorption et cassure de molécules (stérilisation alimentaire par exemple), le stockage et la transmutation des déchets nucléaires (encore faut-il convertir ou réaliser une machine dédiée à cette destruction...). On évoque aussi les micropores.

La valorisation implique la rencontre de deux types d'acteurs : les chercheurs et les industriels.

Côté recherche, la plupart des intervenants admettent que *"en France, on ne sait pas bien transposer à l'industrie, parce qu'on ne sait pas créer les conditions de*

l'industrialisation" (responsable du Service mécanique). Les équipements étant de plus en plus spécifiques pour chaque expérience, la préoccupation de valorisation n'est pas incluse dans la conception des prototypes, uniquement dévolus à la recherche (exemple de l'électronique).

Côté industriels, plusieurs facteurs sont mis en cause. D'une part, à des domaines trop pointus correspondent des marchés exigus. Sollicités pour diffuser des instruments, les industriels mettent sempiternellement au premier plan les études de marché. Même dans le domaine biologique, *"il y a le problème des sociétés qui commercialisent ces instruments physiques, par rapport aux Etats-Unis. L'impact commercial n'est pas le même, en France on est timoré par rapport à l'utilisation de cette instrumentation"*.

L'essaimage vers l'industrie est également réduit par le défaut de proximité, d'adéquation entre domaines particuliers de recherche, et spécialisation de l'industrie française. Au temps de la montée en puissance de la physique nucléaire, de multiples petites entreprises se sont greffées, en amont ou en aval, sur ses différentes composantes et ont bénéficié des avancées de la recherche. Ce n'est plus le cas aujourd'hui. Par exemple, il n'existe pas en France d'industriel spécialiste de la fabrication de petits accélérateurs pour les radio-isotopes, ce sont les Etats-Unis, les Japonais, et les Anglais qui occupent ce marché, alors que, par son expertise, l'IPN pourrait fournir à faible coût des études qui rendraient cette entreprise compétitive. Mais actuellement, l'industrie française n'occupe pas les créneaux pour lesquels elle dispose d'atouts de compétences scientifiques et technologiques pour sa compétitivité.

Bien souvent, l'étude de marché n'est qu'un prétexte. Il n'existe pas d'interface dans l'entreprise pour s'approprier toute la chaîne de fabrication des prototypes, seulement en général un commercial. Une fois signé le contrat de licence, *"l'industriel a beaucoup tendance à se reposer sur l'équipe de recherche, il ne fait pas l'effort"*. Le transfert est donc extrêmement difficile, il incombe aux chercheurs de former les commerciaux, les techniciens, *"ça prend énormément de temps"*, et la concurrence internationale occupe plus rapidement les marchés.

L'équipe de recherche est donc maître d'oeuvre de la valorisation et se déclare "déçue" par la structure de valorisation CNRS qui n'intervient que juridiquement, pour l'établissement du contrat de licence. Sa mission supposerait un double rôle, de relais technologique dans la traduction et l'adaptation aux besoins industriels, et de relais commercial dans la prospection d'acquéreurs potentiels. Si pour le travail en amont, le repérage de partenaires industriels, l'intervention des services CNRS est jugée superflue, du fait de la parfaite connaissance par l'équipe du (petit) milieu accessible à ces appareils, en aval, il n'en est pas de même ; les services de valorisation pourraient être disponibles pour investir dans les particularités des projets, et prendre en charge leur transfert

technologique. L'interface institutionnelle recherche/industrie est donc jugée insuffisante par rapport à sa mission.

Le second obstacle relève du "double langage" de la direction de l'IN2P3 quant à la valorisation et la pluridisciplinarité. Depuis l'avènement du nouveau directeur, la pluridisciplinarité a acquis droit de cité à l'IN2P3. Sous la pression des autorités de tutelle, imposée pour des raisons politiques et financières, un certain nombre de programmes ont été lancés pour répondre aux préoccupations économiques et sociales de la société, et désenclaver la physique nucléaire et des particules en inscrivant plus étroitement ses recherches dans le cadre de la stratégie générale du CNRS. Pour acquérir une légitimation nouvelle, cette intégration plus forte face aux enjeux socio-économiques des avancées des connaissances s'exprime dans le soutien, sinon l'encouragement officiel, de la direction aux activités pluridisciplinaires, à la valorisation, aux relations avec l'industrie.

Mais, en contre-point des discours, les enveloppes budgétaires attribuées à ces objectifs sont faibles, les équipes rencontrent concrètement des difficultés, notamment de recrutement par le Comité National, les activités de valorisation ne sont pas favorisées : *"Dans la vie quotidienne, quand il faut choisir entre la manip d'après-demain et l'éventuelle potentialité de valorisation, il ne faut pas une seconde au Directeur pour trancher dans le sens de la recherche"*. L'IN2P3 joue donc le jeu, mais "mollement". Dans cette conjoncture, l'IPN a assimilé le tournant pris vers la pluridisciplinarité. En témoigne le Rapport d'activité 1990 : *"Les activités à la frontière de la physique nucléaire donnent lieu à des avancées incontestables en radiochimie, dans le domaine des interactions ions lourds/milieux solides et plasmas, dans le développement d'imagerie à vocation biologique ; elles se caractérisent par un élargissement des thèmes abordés par les théoriciens, qui par ailleurs interagissent souvent étroitement avec les expérimentateurs"* (H. Sergolle, 1991). Mais, laissant émerger les voies nouvelles impulsées hors du noyau dur de la discipline, il prend le relais une fois qu'elles ont fait leurs preuves.

Prise en étau entre la communauté scientifique internationale et les impératifs fixés par les pouvoirs publics, la Direction de l'IN2P3 temporise pour cependant affirmer ses choix, la priorité étant donnée à la physique des particules et à son projet LHC. Le recentrement sur LHC ne sera pas neutre, pour le développement de la pluridisciplinarité. La physique nucléaire est en perte de vitesse, elle sera contrainte à l'ouverture pour se redéployer, mais l'ouverture ne se fera pas tous azimuts. La direction par axes favorise les grands projets, les petits projets, sur développement d'idées plus personnelles, auront du mal à survivre.

5.2. Les relations à l'Université

L'IPN apparaît comme relativement mal ancré dans l'Université, en dépit d'une construction institutionnelle (la présence d'une UMR, la gestion financière déléguée à l'Université de Paris XI) qui laisserait augurer de relations plus étroites.

L'IPN compte 50 enseignants-chercheurs (32 dans la DRE et 18 dans la DPT), soit un tiers de l'effectif des chercheurs, qui assument leurs charges d'enseignement, le plus souvent à Paris XI (Orsay), mais d'autres à Paris VI, à Paris VII, ou dans des universités de province. Les charges d'enseignement s'étant accrues en dix ans, de même que les tâches administratives et d'encadrement des étudiants, la fonction enseignante est de plus en plus difficile à concilier avec le travail d'expérimentation, qui exige en outre des déplacements ; la double appartenance est plus aisée pour les théoriciens. L'affectation de postes de maîtres de conférence par l'Université à l'IPN s'est quasiment tarie (un poste en 1995 depuis 5 ans). Réciproquement, l'IPN manifeste une certaine ignorance vis-à-vis de l'Université et apparaît cloisonné, les chercheurs IN2P3 ne s'intègrent qu'en tant que corps constitué, la jonction s'établit essentiellement par les universitaires. Les chercheurs CNRS disent cependant participer de plus en plus à l'enseignement, surtout aux TD. Une douzaine d'agents techniques et administratifs de l'Université de Paris XI sont affectés à l'IPN. C'est aussi par ses services techniques, leur accessibilité aux chercheurs du campus d'Orsay et la diffusion de leurs compétences, que l'IPN transfère des retombées à l'Université. Certains ingénieurs fournissent une contribution, outre aux DEA, à d'autres enseignements de 2e et 3e cycle.

L'IPN est un lieu d'accueil et de formation d'étudiants. Il reçoit 70 stagiaires chaque année, dans les groupes de recherche et les services techniques. Un certain nombre provient des grandes écoles, sur des projets précis, ce qui peut constituer un vivier de recrutement, ou d'essaimage par réseau.

Une quarantaine de thésards sont formés par l'IPN, répartis de façon équilibrée (deux tiers/un tiers) entre la DRE et la DPT. L'IPN pourrait en accueillir beaucoup plus, de l'avis de la direction, compte tenu de ses capacités de formation, mais l'absence d'allocations et de débouchés suffisants est rédhibitoire.

L'IPN héberge trois DEA, et leur procure des enseignants et une infrastructure : le DEA "Champs, particules, matières", commun aux Universités de Paris VI, VII et XI ; le DEA "Radio éléments, Rayonnements, Radiochimie" commun aux Universités de Paris VI, XI et à l'INSTN ; enfin, le DEA "Modélisation, Instrumentation en Physique".

En regard de ces relations d'enseignements et de ce rayonnement des compétences de l'IPN, l'Université joue le rôle de gestionnaire de la plus grande part (environ 17 Millions de francs en 1995) de la dotation de base de l'IPN, sur une ligne budgétaire particulière.

En ce qui concerne la recherche institutionnalisée, le partenariat est déséquilibré, 90% de la recherche sur le campus d'Orsay étant CNRS, et la recherche universitaire n'apparaissant pas guidée par une politique scientifique clairement définie.

Si l'IPN semble bénéficier de son environnement universitaire, il reste cependant relativement enfermé sur lui-même, il existe peu d'échanges avec les équipes universitaires, encore moins de mélange. Son insertion pourrait donc être améliorée.

CONCLUSION

Cette étude nous a permis d'apporter un éclairage sur la place de l'IPN au sein de son Institut de rattachement, et son insertion dans la dynamique de la physique nucléaire et des particules.

Globalement, l'IN2P3 illustre bien la corrélation entre savoir et organisation, entre d'une part une science expérimentale, la physique nucléaire et corpusculaire, qui tend à s'alourdir par les instruments qu'elle nécessite et les moyens techniques et financiers mobilisés, d'autre part le mode organisationnel spécifique qui supporte cette évolution, et la gestion qui lui est adaptée.

Mais la dynamique de la discipline n'est pas unitaire. La concentration des chercheurs sur de grands appareillages collectifs au sein de coopérations internationales, la centralisation, due aux recoupements entre institutions nationales et internationales, définissant simultanément les orientations scientifiques de long terme et la construction des équipements correspondants, marquent la pénétration du modèle de la "big science" dans la physique des particules¹.

Outil de rationalisation des activités scientifiques, ce modèle est porteur d'un mouvement vers une division du travail dans laquelle chaque équipe entrant dans une expérience internationale, occupe scientifiquement et expérimentalement, une place précise et encadrée, et figure une pièce insérée dans un système organisé autour d'un dispositif technique lourd et complexe, dont on recherche un rendement efficace. Ainsi organisée et pilotée, la physique des particules subit une dérive qui assigne aux objectifs scientifiques des procédures de productivité industrielle.

La physique nucléaire n'est pas tributaire comme la physique des particules d'une ascension en puissance énergétique. Encore que celle-ci ne soit pas illimitée puisque, selon nos interlocuteurs, invalidant la vision profane de cette "fuite en avant" dans la montée en énergie des accélérateurs, on peut (sans doute ?) prédire que le LHC marque l'échelon maximum d'un effort mondial dans la construction de ce type d'équipement,

1 D. Pestre, op. cit.

que physiquement il n'y a plus de montée en puissance possible, et que dès lors ce sont les méthodes d'accélération qui devront technologiquement se modifier.

En physique nucléaire, en dépit de fortes contraintes exercées au travers de la construction des grands accélérateurs par les choix de recherche qu'ils représentent, il demeure encore des marges de liberté d'investigation dues à la grande diversité théorique et de conception dans l'instrumentation. La physique nucléaire reste une discipline diversifiée, de plus en plus complexe, travaillant sur un éventail de questions avec des instruments qualitativement différenciés, des sources variées, une gamme d'énergies très étendue, caractéristiques que l'on a pu qualifier parfois "d'émission".

Il en est ainsi à l'IPN, dont la physique nucléaire est la discipline première, et qui couvre un spectre large d'activités nucléaires et péri-nucléaires. Du fait de cette variété, la mutation intervenue au début des années 80 avec la rupture d'unité de lieu laboratoire/équipement et le passage sur des grands instruments collectifs n'a pas transformé radicalement les pratiques de recherche, structurées par des petites équipes qui se coordonnent sur un projet. La migration sur des machines hors site a renforcé les échanges avec les physiciens de la communauté, mais l'entité laboratoire reste le lieu d'accumulation de la culture scientifique. Néanmoins, avec sa participation aux grandes collaborations sur le GANIL et les collisionneurs internationaux, et surtout ses interventions au CERN (Na50, et à présent Alice sur le LHC, ainsi que la contribution à la construction de l'accélérateur) l'IPN se trouve déjà engagé dans la "big science", et dans le mouvement de rationalisation qui l'accompagne, porteur des méthodes d'organisation et de production industrielles. L'IPN se situe ainsi dans une phase de transition, dont on voit bien que l'objectif assigné est de devenir un laboratoire "base arrière" des organisations gérant collectivement les installations nationales et internationales, dans une matrice grands projets/laboratoires propres à l'IN2P3. Cependant, en s'inscrivant dans ce nouvel espace scientifique et technique élargi, piloté au premier chef par les Comités internationaux, il s'y intègre tant avec sa fonction technique qu'avec sa composante scientifique. Celles-ci deviennent des segments de ressources indépendants, l'une à mobiliser dans l'élaboration et la réalisation distribuées complémentaires des projets, l'autre guidée à entériner les orientations des grands programmes de recherche. Dans cette configuration de pouvoirs, la marge de manoeuvre du directeur de laboratoire entre changement et continuité est étroite, le prestige et la place du laboratoire dans la communauté européenne étant mis en jeu dans sa capacité à faire face à la demande. Le potentiel technique, en grande partie fruit des continuités sociologiques, se retrouve en porte-à-faux dans ce mouvement de dissociation relative entre ressources techniques et communauté des physiciens, d'accentuation de la division du travail à l'échelle européenne. Soumis aux exigences gestionnaires des laboratoires maîtres d'oeuvre, il est contraint à des mutations pour assumer des procédures, sinon un contenu de travail, de type quasi industriel. Cette montée en industrialisation ne serait cependant pas inéluctable, et procède bien d'un choix d'intégration dans la division internationale du travail scientifique et technique de la discipline, appuyé sur l'existence à

l'IPN d'une forte concentration technique ; la politique alternative (socialement coûteuse) étant, plutôt que d'introduire en interne les normes et méthodes de productivité industrielle, de sélectionner l'aire d'activités propres de chaque laboratoire, créer les conditions de renforcer les capacités d'innovation, et d'acquérir en complément celles de communiquer et travailler avec des sous-traitants industriels intervenant plus largement dans le procès de production de la science lourde.

– Cette transition dans l'organisation productive correspond aussi à des repositionnements au sein de la physique nucléaire, vers une plus grande diversité aux frontières de la discipline. Des activités pluridisciplinaires émergent dans le domaine de la physique atomique, de l'interaction ions-matière, et de l'instrumentation pour la recherche bio-médicale, impulsées notamment par des chercheurs pour lesquels la physique nucléaire "ne produisait plus de sens", mais se conjuguant aux incitations d'une direction de l'IN2P3 soucieuse de paraître ouvrir davantage les recherches de l'Institut aux besoins socio-économiques. Il en résulte une hétérogénéité des lignes de recherche dans la structure IPN, et une configuration assez complexe entre groupes, thèmes, et type d'instrumentation utilisé, qui présente toutefois une certaine cohésion. S'il existe bien une contre-expertise en interne, fonctionne aussi une interdépendance entre "périphérie" et "noyau dur" du laboratoire, l'une prenant appui pour se développer sur la technologie et les compétences du nucléaire, l'autre faisant figurer en vitrine ces activités d'ouverture de la physique nucléaire pour la prémunir d'une caractérisation de confinement. La cohésion de l'IPN repose donc sur un consensus des physiciens, qui ne signifie pas une unanimité de points de vue sur les orientations, mais témoigne de mécanismes de régulation professionnelle internes pour gérer les oppositions et opérer les arbitrages voulus, et présenter face à l'extérieur un front commun de la discipline.

– La physique nucléaire n'est plus dans son essor, elle est "*malmenée dans son existence scientifique*", mais elle est, on l'a vu, en cours de redéploiement de son contenu, d'un côté avec le plasma quarks-gluons, de l'autre avec les faisceaux secondaires exotiques.

Dans cette évolution, les interventions institutionnelles de la direction de l'IN2P3 jouent à l'interface des communautés scientifiques, et des instances politiques dont, selon leur paradoxe, ces sciences lourdes qui visent un savoir très théorique sont largement dépendantes¹.

Issue du milieu scientifique national, la direction IN2P3 intervient, par le biais des autorisations de programme, dans la coordination des équipes sur des thématiques communes, et dans la mise en coopération des moyens des laboratoires pour la construction des grands équipements, remplissant ainsi le rôle fédérateur dont la légitimité

1 M. Crozon, "La course aux particules", in A. Esterle (dir.), "*Organisation de la recherche et conformisme scientifiques*", PUF, 1994.

lui est reconnue par l'ensemble des physiciens. Mais, intégrée à la communauté scientifique internationale, elle n'échappe pas à son "lobbying" qui tendrait à faire mettre l'accent, dans les grandes orientations, sur le corpusculaire au détriment du nucléaire, particulièrement dans les décisions d'investissements lourds; et à promouvoir, y compris dans ceux des laboratoires de physique nucléaire comme l'IPN, dont l'organisation s'est ouverte sur un processus de production largement externalisé, l'introduction des méthodes de la "big science". Si la fonctionnalité de ces nouvelles pratiques scientifiques est garante d'une efficacité par rapport à des objectifs de production d'informations et de rationalisation des moyens, il n'est pas avéré qu'elles n'engendrent une perte de créativité dans la recherche de connaissances fondamentales, et elles paraissent peu propices à intégrer des préoccupations "d'utilité collective" issues de l'environnement socio-économique. Confrontée au mouvement imprimé à la discipline par le groupe des "pairs" capable de faire prévaloir sa vision dominante dans différentes instances de décision, la direction de l'IN2P3 se veut alors, sous la pression des pouvoirs publics dont elle tire pour partie ses prérogatives, porteuse de ce qui serait la demande de la société à l'égard de la science. La coexistence du recentrage sur quelques axes et de foisonnement aux frontières de la discipline qu'illustrent actuellement les bifurcations dans la vocation de l'IPN traduit le pilotage plus resserré de la direction IN2P3 et son incitation des physiciens nucléaires à des déplacements thématiques vers des recherches et des applications d'une plus grande légitimité sociale. La dynamique de la physique nucléaire était, jusque dans les années 80, auto-centrée, sous contraintes elle doit se redéployer, s'ouvrir sur son environnement, mais la coalition de physique nucléaire reste assez forte pour "clôturer" le système en auto-délimitant ses propres frontières.

The first section of the paper discusses the importance of understanding the individual differences in the workplace. It highlights how these differences can affect performance and well-being. The second section focuses on the role of the organization in supporting its employees. This includes providing resources, training, and a supportive work environment. The third section discusses the importance of leadership in this context. Leaders should be able to recognize and leverage the strengths of their team members. The fourth section explores the impact of stress and burnout on the workforce. It suggests strategies for preventing and managing these issues. The final section concludes by emphasizing the need for a holistic approach to employee well-being, one that considers both the individual and the organizational context.

A N N E X E S

1954

A N N E X E 1

1952

Méthodologie

Cette monographie a été réalisée principalement à partir de l'analyse qualitative d'entretiens semi-directifs (27) effectués en juillet, septembre, et octobre 1995 à l'IPN d'Orsay avec :

- la Direction du laboratoire,
- le Responsable des ressources humaines et du service financier,
- un chercheur de la Division de Physique Théorique,
- des membres de deux équipes de la Division de Recherche Expérimentale, comprenant les responsables d'équipe, des chercheurs, des enseignants-chercheurs, des techniciens, des doctorants,
- des membres du Service Electronique Physique (SEP) et du Service Etudes et Réalisations Mécaniques (SERM), comprenant les chefs de service, des ingénieurs et des techniciens,
- des ingénieurs de groupes techniques
- des chercheurs et ingénieurs du groupe R/D Accélérateurs.

J'ai également assisté à une réunion du Comité de Direction Technique, et à des séances de travail sur des projets techniques.

Par ailleurs, j'ai utilisé les rapports d'activité de l'IN2P3, les rapports annuels de l'IPN, des rapports du Comité de direction et d'orientation scientifique de l'IPN, des documents fournis par le service administratif (Tableaux de bord).

Je suis seule responsable des analyses tirées de l'interprétation de ces données.

REFERENCES

1. Fergusson DM, Horwood DJ, Boden MT, et al. (2005) Alcohol use and mental health in adolescence: A review of the literature. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 46, 11-28.
2. Fergusson DM, Horwood DJ, Boden MT, et al. (2006) Alcohol use and mental health in adolescence: A review of the literature. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47, 11-28.
3. Fergusson DM, Horwood DJ, Boden MT, et al. (2007) Alcohol use and mental health in adolescence: A review of the literature. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 48, 11-28.
4. Fergusson DM, Horwood DJ, Boden MT, et al. (2008) Alcohol use and mental health in adolescence: A review of the literature. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 49, 11-28.
5. Fergusson DM, Horwood DJ, Boden MT, et al. (2009) Alcohol use and mental health in adolescence: A review of the literature. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 50, 11-28.
6. Fergusson DM, Horwood DJ, Boden MT, et al. (2010) Alcohol use and mental health in adolescence: A review of the literature. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 51, 11-28.
7. Fergusson DM, Horwood DJ, Boden MT, et al. (2011) Alcohol use and mental health in adolescence: A review of the literature. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 52, 11-28.
8. Fergusson DM, Horwood DJ, Boden MT, et al. (2012) Alcohol use and mental health in adolescence: A review of the literature. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 53, 11-28.
9. Fergusson DM, Horwood DJ, Boden MT, et al. (2013) Alcohol use and mental health in adolescence: A review of the literature. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 54, 11-28.
10. Fergusson DM, Horwood DJ, Boden MT, et al. (2014) Alcohol use and mental health in adolescence: A review of the literature. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 55, 11-28.
11. Fergusson DM, Horwood DJ, Boden MT, et al. (2015) Alcohol use and mental health in adolescence: A review of the literature. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 56, 11-28.
12. Fergusson DM, Horwood DJ, Boden MT, et al. (2016) Alcohol use and mental health in adolescence: A review of the literature. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 57, 11-28.
13. Fergusson DM, Horwood DJ, Boden MT, et al. (2017) Alcohol use and mental health in adolescence: A review of the literature. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 58, 11-28.
14. Fergusson DM, Horwood DJ, Boden MT, et al. (2018) Alcohol use and mental health in adolescence: A review of the literature. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 59, 11-28.
15. Fergusson DM, Horwood DJ, Boden MT, et al. (2019) Alcohol use and mental health in adolescence: A review of the literature. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 60, 11-28.
16. Fergusson DM, Horwood DJ, Boden MT, et al. (2020) Alcohol use and mental health in adolescence: A review of the literature. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 61, 11-28.
17. Fergusson DM, Horwood DJ, Boden MT, et al. (2021) Alcohol use and mental health in adolescence: A review of the literature. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 62, 11-28.
18. Fergusson DM, Horwood DJ, Boden MT, et al. (2022) Alcohol use and mental health in adolescence: A review of the literature. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 63, 11-28.
19. Fergusson DM, Horwood DJ, Boden MT, et al. (2023) Alcohol use and mental health in adolescence: A review of the literature. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 64, 11-28.
20. Fergusson DM, Horwood DJ, Boden MT, et al. (2024) Alcohol use and mental health in adolescence: A review of the literature. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 65, 11-28.

A N N E X E 2

LIBRARY

ETAT SYNTHETIQUE DES COMPTES BUDGETAIRES DE L'I.P.N. (en K.F)

Orsay, le 3 juillet 1995

LIGNES BUDGETAIRES	Attributions 95	Reports + Avenants	Concours	Mandate-ments	Engagements	Disponible	Observat.
Université : fonctionnement	17 027 334			11 278 636	6 077 731	-329 032 *	
IN2P3 : SBUR	5 640 112	5 330 337		4 764 577	6 926 316	-720 404 **	
IN2P3 : gros équipement	790 000	3 940 481		518 406	471 827	3 740 247	

SOUTIEN DE BASE	Attributions 95	Reports + Avenants	Concours	Mandate-ments	Engagements	Disponible	Observat.
<i>Divisions</i>							
DPT Fonctionnement	378	127	-86	172	125	121	
DPT Missions	284	17	0	140	81	80	
DRE Equipement	1 293	3 434	-1 636	334	409	2 348	
DRE Fonctionnement	2 371	1 528	-94	984	491	2 330	
DRE Missions	2 011	275	34	887	316	1 117	
DRE Vacances	30	0	0	0	13	17	
DPT Vacances	15	0	0	5	0	10	
<i>Services</i>							
Missions Techniques	99	49	9	84	4	70	
Bibliothèque	459	577	129	629	94	442	
Mag/Achats	0	673	1 132	1 287	420	98	
See Magasin	27	9	-27	11	5	-8	
Direction	220	69	-53	115	80	40	
Impression Photo	126	89	3	179	113	-74	
Service Medical	45	4	-13	12	3	22	
STB/Trav. Entretien fonct	180	293	206	485	110	84	
Tandem	777	193	-107	335	238	290	
Basses Températures	106	304	422	325	268	237	
R&D Cavités Supra	90	124	47	133	47	80	
SEP	72	1 701	10	1 220	727	-164	
S2I	442	516	207	632	525	7	
Mécanique	45	216	1 082	819	450	73	
R&D Faisceaux Exotiques	225	165	357	499	366	-118	
Radioprotection	465	158	-40	259	188	136	
<i>Comptes d'intérêt général</i>							
Sécurité	54	0	-8	7	2	37	
STB/Recherche	271	124	25	228	98	95	
Adm./Dépenses Communes	225	16	27	148	100	20	
Campus	3 960	-488	0	1 629	2 433	-590	
Contrats	3 240	580	2	1 964	2 371	-513	
Formation Permanente	45	30	18	51	10	32	
Crédits Maintenance	843	609	0	714	564	174	
Vacations Techniques	30	0	0	4	0	26	
Enseignement	63	33	-18	21	9	48	

* Dans l'attente de la DM des reports

** Dans l'attente de la DM de l'I.N.2.P.3.

A LIST OF THE NAMES OF THE MEMBERS OF THE SOCIETY

No.	Name	Address	Profession	Age	Religion	Remarks
1	Mr. J. H. Smith	123 Main St.	Teacher	35	Methodist	
2	Mr. W. B. Jones	456 Elm St.	Farmer	42	Baptist	
3	Mr. C. D. Brown	789 Oak St.	Merchant	50	Presbyterian	
4	Mr. E. F. Green	101 Pine St.	Physician	55	Episcopal	
5	Mr. G. H. White	202 Cedar St.	Lawyer	60	Anglican	
6	Mr. I. J. Black	303 Birch St.	Engineer	48	Methodist	
7	Mr. K. L. Gray	404 Spruce St.	Banker	52	Baptist	
8	Mr. M. N. Hall	505 Willow St.	Doctor	58	Presbyterian	
9	Mr. O. P. King	606 Ash St.	Merchant	62	Anglican	
10	Mr. Q. R. Lee	707 Hickory St.	Teacher	38	Methodist	
11	Mr. S. T. Young	808 Chestnut St.	Farmer	45	Baptist	
12	Mr. U. V. Adams	909 Walnut St.	Merchant	53	Presbyterian	
13	Mr. X. W. Baker	1010 Elm St.	Physician	57	Episcopal	
14	Mr. Y. Z. Clark	1111 Oak St.	Lawyer	61	Anglican	
15	Mr. A. B. Evans	1212 Pine St.	Engineer	49	Methodist	
16	Mr. C. D. Fisher	1313 Cedar St.	Banker	54	Baptist	
17	Mr. E. F. Grant	1414 Birch St.	Doctor	59	Presbyterian	
18	Mr. G. H. Harris	1515 Spruce St.	Merchant	63	Anglican	
19	Mr. I. J. King	1616 Willow St.	Teacher	39	Methodist	
20	Mr. K. L. Lee	1717 Ash St.	Farmer	46	Baptist	
21	Mr. M. N. Miller	1818 Hickory St.	Merchant	54	Presbyterian	
22	Mr. O. P. Moore	1919 Chestnut St.	Physician	58	Episcopal	
23	Mr. Q. R. Taylor	2020 Walnut St.	Lawyer	62	Anglican	
24	Mr. S. T. White	2121 Elm St.	Engineer	50	Methodist	
25	Mr. U. V. Young	2222 Oak St.	Banker	55	Baptist	
26	Mr. X. W. Adams	2323 Pine St.	Doctor	60	Presbyterian	
27	Mr. Y. Z. Baker	2424 Cedar St.	Merchant	64	Anglican	
28	Mr. A. B. Clark	2525 Birch St.	Teacher	40	Methodist	
29	Mr. C. D. Evans	2626 Spruce St.	Farmer	47	Baptist	
30	Mr. E. F. Grant	2727 Willow St.	Merchant	55	Presbyterian	
31	Mr. G. H. Harris	2828 Ash St.	Physician	59	Episcopal	
32	Mr. I. J. King	2929 Hickory St.	Lawyer	63	Anglican	
33	Mr. K. L. Lee	3030 Chestnut St.	Engineer	51	Methodist	
34	Mr. M. N. Miller	3131 Walnut St.	Banker	56	Baptist	
35	Mr. O. P. Moore	3232 Elm St.	Doctor	61	Presbyterian	
36	Mr. Q. R. Taylor	3333 Oak St.	Merchant	65	Anglican	
37	Mr. S. T. White	3434 Pine St.	Teacher	41	Methodist	
38	Mr. U. V. Young	3535 Cedar St.	Farmer	48	Baptist	
39	Mr. X. W. Adams	3636 Birch St.	Merchant	56	Presbyterian	
40	Mr. Y. Z. Baker	3737 Spruce St.	Physician	60	Episcopal	
41	Mr. A. B. Clark	3838 Willow St.	Lawyer	64	Anglican	
42	Mr. C. D. Evans	3939 Ash St.	Engineer	52	Methodist	
43	Mr. E. F. Grant	4040 Hickory St.	Banker	57	Baptist	
44	Mr. G. H. Harris	4141 Chestnut St.	Doctor	62	Presbyterian	
45	Mr. I. J. King	4242 Walnut St.	Merchant	66	Anglican	
46	Mr. K. L. Lee	4343 Elm St.	Teacher	42	Methodist	
47	Mr. M. N. Miller	4444 Oak St.	Farmer	49	Baptist	
48	Mr. O. P. Moore	4545 Pine St.	Merchant	57	Presbyterian	
49	Mr. Q. R. Taylor	4646 Cedar St.	Physician	61	Episcopal	
50	Mr. S. T. White	4747 Birch St.	Lawyer	65	Anglican	

A N N E X E 3

UNIVERSITY OF CHICAGO

OPERATIONS SCIENTIFIQUES (&F.IIT.)

AUTORISATION DE PROGRAMME		Attributions 95	Reports+ Avenants	Concours	Mandate- ments	Engagements	Disponible
STATION INFORMATIQUE	3210	440	0	175	0	249	366
EQUIPT ELECTRONIQUE	4200	300	32	-204	42	85	1
EQUIP. MECANIQUE	5200	150	2	0	0	0	152
SOLO TANDEM	8160	0	98	-18	106	0	-26
AMENAGEMENT IPN	8190	100	2	-10	0	90	2
ULTIMATECH PIR	10100	0	151	-29	7	0	116
GRAAL	13320	90	883	-276	60	22	615
SELPO	15150	0	488	-7	39	32	411
PTF	15210	700	688	-332	412	258	387
CAVITES GECS	15220	200	-12	-32	44	63	50
RETR. POOL EUROGAM	16010	50	27	10	0	44	43
EUROGAM I	16011	100	0	-100	0	0	0
DETECTEUR KVI	16012	0	1112	-417	68	198	429
NOYAUX EXOTIQUES	16020	400	150	-351	0	0	199
SOLDE	16022	80	49	-80	5	0	44
NDRA	16032	130	0	-80	0	0	50
NA50	16041	163	18	-44	57	44	37
TANDEM	16643	300	12	1	14	20	279
ONS LOURDS	17200	400	25	-202	43	7	173
PRACTIS	17300	70	99	-2	13	3	150
ULTIMATECH BIOLOGIE	17500	100	466	-14	63	88	401
PRACEN	17700	255	50	-219	28	15	42
ENSEIGNEMENT STAGES	27010	104	0	-80	0	0	24

MEMORANDUM FOR THE RECORD

DATE	DESCRIPTION	AMOUNT	CHECK NO.	ACCOUNT	INITIALS
10/15/54
10/22/54
10/29/54
11/05/54
11/12/54
11/19/54
11/26/54
12/03/54
12/10/54
12/17/54
12/24/54
12/31/54

A N N E X E 4

ANNALS

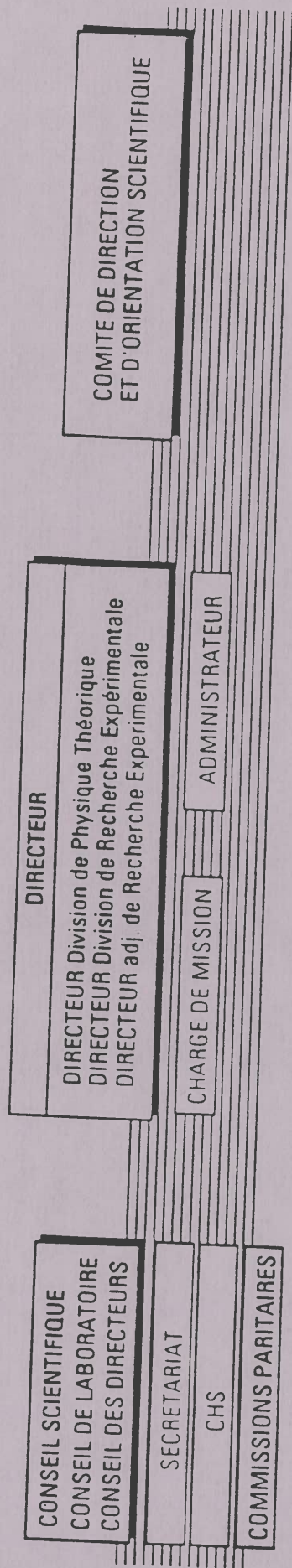
Date	CHERCHEURS			INGENIEURS			TECHNICIENS			ADMINISTRATIFS			I.T.A.			IPN				
	CNRS	ENS	Tot.	ITA	TPN	Tot.	ITA	TPN	UPS	Tot.	CNRS	UPS	Tot.	var.	TOT.	Δ	Tit.	Stag.	Tot.	Ne
7/91	89	48	137	68	73	141	93	98	7	198	32	5	37		376		513	42	555	
10/91	90	48	138	66	73	139	95	97	7	199	31	5	36		374		512	51	563	
1/92	91	47	138	68	73	141	0	97	7	201	30	5	35	-2	377	1	515	57	572	174
4/92	90	47	137	70	73	143		96	7	195	30	5	35		373		510	62	572	
7/92	88	49	137	70	71	141		96	7	190	30	4	34		365		502	56	558	
10/92	90	49	139	70	70	140		95	7	188	30	5	35		363		502	66	569	
1/93	90	49	139	73	69	142	1	97	6	187	29	5	34	-1	363	-14	502	65	567	177
4/93	89	48	137	73	69	142		99	8	191	30	5	35		368		505	75	564	
7/93	90	49	139	80	71	151		95	6	181	26	5	31		363		502	74	576	
10/93	92	49	141	79	70	149		94	8	180	27	5	32		361		502	70		
1/94	92	49	141	77	70	147	5	93	8	177	27	5	32	-2	356	-7	497	69	564	177
4/94	91	48	139	77	69	146		94	7	177	27	5	32		355		494	83	577	
7/94	91	49	140	78	72	150		94	8	173	26	5	31		354		494	99	593	
10/94	94	46	140	77	70	147		93	7	169	25	5	30		346		486	84	570	
1/95	95	47	142	77	71	148	1	98	8	174	24	5	29	-3	351	-5	493	85	576	182
4/95	95	46	141	77	69	146		97	8	170	24	5	29		345		486	83	569	
7/95																				
10/95																				
1/96																				
4/96																				
7/96																				
10/96																				

MASSE SALARIALE (HT)

	CHERCHEURS			I.T.A.			T.P.N.			Divers			Total		
1991	20 008	709	F.				83 229	820	F.				103 238	529	F.
1992	22 697	661	F.				86 404	948	F.				109 102	609	F.
1993	25 901	963	F.	40 004	107	F.	41 909	284	F.	124	920	F.	107 940	276	F.
1994	26 260	506	F.	41 457	425	F.	41 879	634	F.	149	851	F.	109 747	416	F.

A N N E X E 5

UNIVERSITY OF CHICAGO



DIVISIONS

RECHERCHE EXPERIMENTALE

CONSEIL DE DIVISION

PHYS. AUX ENERGIES INTERMEDIAIRES E.I

PHYS. NUCLEAIRE DES IONS LOURDS P.N.I.L

NOYAUX, IONS, MATIERE N.I.M

RADIOCHIMIE RC

STRUCTURE, QUAGMA, DETECTEURS S.Qa.D

STRUCTURE NUCLEAIRE PAR REACTIONS S.N.R

SECRETARIAT

CIBLES-SOURCES DETECTEURS SELPO S.I.S

PHYSIQUE THEORIQUE

CONSEIL DE DIVISION

SPECTROSCOPIE NUCLEAIRE

COLLISIONS NOYAU-NOYAU

PHYSIQUE HADRONIQUE

PROBLEME A N-CORPS

PARTICULES ELEMENTAIRES

PHYSIQUE STATISTIQUE

THEORIE DES CHAMPS

SYSTEMES DYNAMIQUES

SECRETARIAT

BIBLIOTHEQUE

SERVICES

TECHNIQUES

AGOR

Cyclotron à bobinage supraconducteur Groningen-Orsay (en construction)

BASSES TEMPERATURES

ELECTRONIQUE ELECTROTECHNIQUE ELECTROMAGNETISME S.E.E.M

ELECTRONIQUE PHYSIQUE S.E.P

MECANIQUE BUREAU D'ETUDE SERM

RADIOPROTECTION

TANDEM M.P

TRAITEMENT INFORMATIQUE CALCUL S.T.I.C

PARTICIPATION A L'ENSEIGNEMENT

GENERAUX

ACHAT-RESERVE

ADMINISTRATION

BATIMENT S.T.B

DOCUMENTATION BIBLIOTHEQUE

EDITION - PHOTO

FINANCES

MEDECINE PREVENTIVE

RESSOURCES HUMAINES

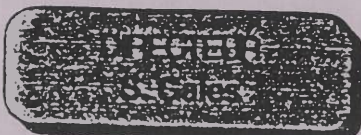
DEA CHAMPS, PARTICULES, MATIERES

DEA RADIOELEMENTS RAYONNEMENTS RADIOCHIMIE

Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page.

A N N E X E 6

UNIVERSITY OF CHICAGO



ADMINISTRATEUR
J. Jaunet

Chargés de mission technique
P. Debray
J. Pouthas

Assistante de Direction
R. Debray

Division de physique théorique
Directeur : **D. Vautherin**

PHYSIQUE NUCLEAIRE

PARTICULES ET CHAMPS

PHYSIQUE STATISTIQUE

Enseignement

DEA (C.P.M.)
CHAMPS PARTICULES
MATIERES
L. Valentin

DEA (3R)
RADIOELEMENTS
RAYONNEMENTS
RADIOCHIMIE
M. Genet

DEA (M.I.P.)
MODELISATION
INSTRUMENTATION
EN PHYSIQUE
Correspondant I.P.N.
J. C. Roynette

Division de recherche expérimentale
Directeur : **N. Frascaria**

Chargé de missions techniques
D. Gardes

ENERGIES INTERMEDIAIRES
E.I.
J. L. Boyard

PHYSIQUE NUCLEAIRE
DES IONS LOURDS
P.N.I.L.
T. Suomijärvi

NOYAUX IONS MATIERE
N.I.M.
D. Jacquet

RADIOCHIMIE
J. C. Krupa

NOYAUX, DEFORMATIONS
EXOTIQUES
N.O.D.E.
B. Roussière

STRUCTURE NUCLEAIRE
PAR REACTIONS
S.N.R.
S. Fortier

PHYSIQUE HADRONIQUE
AVEC SONDE
ELECTROMAGNETIQUE
P.H.A.S.E.
J. P. Didelez

INTERFACES
PHYSIQUE BIOLOGIE
I.P.B.
H. Tricoire

CIBLES
D. Sznajderman

DETECTEURS
L. Stab

Services Techniques

ELECTRONIQUE
PHYSIQUE
S.E.P.
R. Sellem

INFORMATIQUE
S.2I.
H. Harroch

MECANIQUE
BUREAU D'ETUDES
S.E.R.M.
M. Denoit

BASSES TEMPERATURES
S.B.T.
S. Buhler

R. & D.
ACCELERATEURS
Faisceaux exotiques & sources
A. Mueller
Cavités supra.
Faisceaux d'électrons
T. Junquera

ACCELERATEUR
TANDEM
B. Waast

RADIOPROTECTION
F. Clapier

Services Généraux

RESSOURCES HUMAINES
J. Jaunet

ADMINISTRATION
EDITION
C. Hutin

GESTION FINANCIERE
M. Lugiez

BATIMENT S.T.B.S.
C. Pleven

MAGASIN - ACHATS
C. Mathieu

BIBLIOTHEQUE
G. Vergnes

MEDECINE PREVENTIVE
E. Dossier

1. Name of the person
2. Address
3. City

4. State
5. Zip

6. Telephone
7. Date

8. Name of the person
9. Address

10. City
11. State

12. Zip
13. Telephone

14. Date
15. Name of the person

16. Address
17. City

18. State
19. Zip

20. Telephone
21. Name of the person

22. Address
23. City

24. State
25. Zip

26. Telephone
27. Name of the person

28. Address
29. City

30. State
31. Zip

32. Telephone
33. Name of the person

34. Address
35. City

36. State
37. Zip

38. Telephone
39. Name of the person

40. Address
41. City

42. State
43. Zip

44. Telephone
45. Name of the person

46. Address
47. City

48. State
49. Zip

50. Telephone
51. Name of the person

52. Address
53. City

54. State
55. Zip

56. Telephone
57. Name of the person

58. Address
59. City

60. State
61. Zip

62. Telephone
63. Name of the person

64. Address
65. City

66. State
67. Zip

68. Telephone
69. Name of the person

70. Address
71. City

72. State
73. Zip

74. Telephone
75. Name of the person

76. Address
77. City

78. State
79. Zip

80. Telephone
81. Name of the person

82. Address
83. City

84. State
85. Zip

86. Telephone
87. Name of the person

88. Address
89. City

90. State
91. Zip

92. Telephone
93. Name of the person

94. Address
95. City

96. State
97. Zip

98. Telephone
99. Name of the person

100. Address
101. City

102. State
103. Zip

*Monographie d'un laboratoire
de physique des particules : le Centre
de Physique des Particules de Marseille*

*Caroline Lanciano-Morandat
Claude Paraponaris*

[Faint, illegible text in the upper section of the page, possibly an abstract or introduction.]

Abstract of the paper presented at the
Annual Meeting of the American Medical Association
in Chicago, Illinois, June 1954

[Faint, illegible text in the lower section of the page, likely the main body of the paper.]

Introduction

L'objet de la physique des particules est "d'étudier, à l'échelle des constituants ultimes de la matière, les interactions les plus fondamentales" (rapport de conjoncture). Alors que dans les années 40, la discipline centrait ses recherches sur "le noyau de l'atome avec de très petits moyens de bombardement de particules alpha d'uranium ou de petits cyclotrons", elle s'est orientée après la guerre, "vers la connaissance de ce qui est beaucoup plus fin, plus minuscule encore" c'est-à-dire le proton et neutron comme des "systèmes complexes" (Leprince-Ringuet, 1971)¹. Cette orientation a obligé les chercheurs à avoir à leur disposition un grand nombre de particules de très hautes énergies. Car pour "étudier des projectiles de dimensions plus fines", il fallait utiliser des longueurs d'onde plus petites donc des vitesses de plus en plus grandes (passage par la mécanique quantique élémentaire).

Ces nouvelles conditions de l'évolution des sciences ont rendu nécessaire la construction d'un accélérateur de particules plus grand que ceux dont disposaient alors les laboratoires européens. Cet investissement ne pouvait être financièrement supporté, seul, par aucun pays de la communauté. L'Europe s'est donc organisée collectivement pour se doter de ce grand accélérateur qui a été installé au CERN. L'absence d'un tel instrument aurait, en effet, pu conduire les jeunes chercheurs de la discipline à partir pour les USA et aurait donc "désorienté" la communauté scientifique européenne de cette discipline qui était alors en voie de constitution.

Jusqu'alors, activité théorique et activité expérimentale étaient en interaction forte, un processus de recherche intégré permettait à un même physicien des interrogations théoriques et la possibilité d'application de celles-ci en terme expérimental. Les outils d'analyse et les équipements d'expérimentation se trouvaient concentrés sur un même site. Cette proximité favorisait des investigations de caractère plutôt individuel et se déroulant selon une temporalité comparable à celle des autres disciplines. Mais déjà, le système d'évaluation du CNRS distinguait les théoriciens des expérimentateurs, les premiers privilégiant de tous temps leurs interactions avec les mathématiciens à leurs relations avec les expérimentateurs (entretien Yoccoz, 27/11/95).

¹ Leprince-Ringuet Louis (1971), in "Bilan de la France 1945-1970", Plon.

La fin des années 60 et la centration du dispositif de recherche sur un instrument sophistiqué et extérieur au laboratoire, marque un infléchissement de ce modèle de recherche.

Les unités de recherche nationales doivent tenir compte du rôle du CERN et de l'émergence d'un nouvel agencement du travail en physique corpusculaire qui dissocie le lieu d'expérimentation et les laboratoires et qui organise la recherche en projets transversaux et "*quasi- industriels*" (Papon, 1989)¹.

Le CERN est conçu comme un lieu d'expérimentation "*où on fabrique des particules, où on les accélère, où on crée les phénomènes*" (Leprince-Ringuet, 1971) et il implique une association avec des laboratoires périphériques ("Les collaborations", Rubbia, 1993). Les laboratoires ne sont plus "*le lieu privilégié de production de connaissances*" (Papon, 1989)², ils ont eu pour la plupart une histoire antérieure à cette nouvelle configuration, ils ont été construits pour assurer la totalité du processus de recherche et disposent donc de moyens autonomes d'expérimentation (Blanc-Lapierre, 1995)³. Les grands instruments complexifient leur organisation puisqu'ils doivent à la fois faire fonctionner le système précédent et s'adapter à la nouvelle division du travail.

La division du travail devient beaucoup plus marquée entre théoriciens et expérimentateurs. Ces derniers commencent à délimiter un champ scientifique spécifique ordonné par la précision des résultats. Deux espaces professionnels distincts se construisent alors : l'un autour de l'axiomatique, l'autre autour de l'expérimentation.

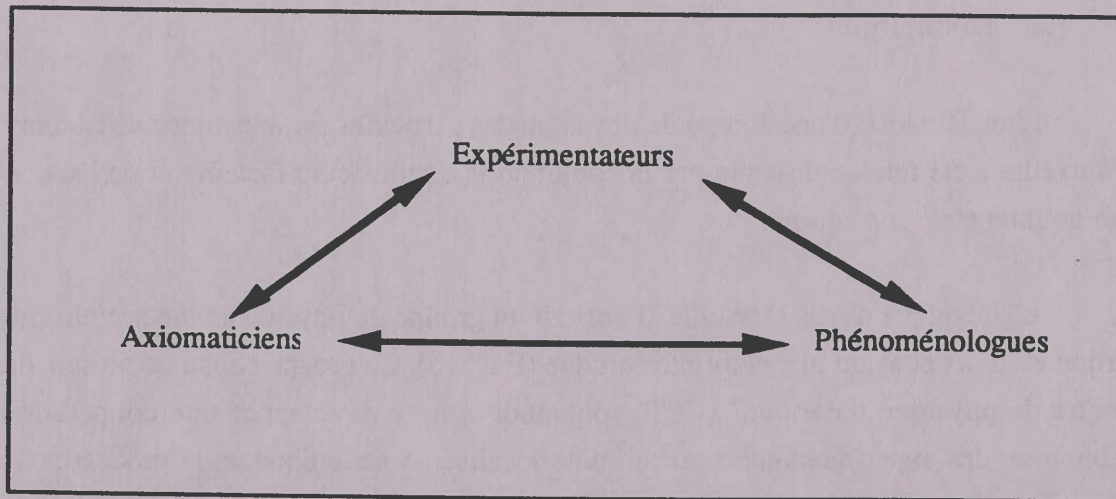
La construction et la mise au point des ces grands équipements conduit, par ailleurs, à donner à la technologie une "*empreinte*" importante (Papon, 1989) sur la science, or aucun laboratoire ne dispose de l'ensemble des techniques pour faire face aux exigences d'une telle recherche. Se créent donc des coopérations à la fois scientifiques et techniques entre laboratoires et entre les différents acteurs d'un même projet. L'organisation de ces collaborations complexes a tendance à se procéder de plus en plus comme le sont les opérations industrielles.

1 Papon Pierre (1989), *Les logiques du futur : sciences, technologies, pouvoir*, Paris, Aubier.

2 Rubbia Carlo (1993), *l'Europe de la recherche. Contribution à la session plénière du Comité national du CNRS*, Strasbourg, 22 avril 1993.

3 Entretien avec A. Blanc-Lapierre, le 28 novembre 1995.

Figure 1



Ces longues et importantes collaborations modifient les conditions de production, par la communauté scientifique, de l'évaluation tant des opérations de recherche que des chercheurs. Elles complexifient, aussi, l'identification des différentes externalités dans ce type de recherche.

Le CPPM a été créé dans ce nouveau contexte scientifique et organisationnel. Il est un laboratoire "base arrière" (Papon, 1989) des grands instruments c'est-à-dire qu'il est un **centre de ressources scientifiques et technologiques, matérielles et immatérielles** et non pas un lieu d'expérimentation. Il a été conçu, dès sa création, comme étant le **complément scientifique et technique d'un dispositif de recherche plus vaste**¹. Il représente dans l'institution IN2P3 à la fois un exemple des formes d'activité de la physique des particules et un modèle de la nouvelle organisation des compétences à l'intérieur de la communauté internationale des physiciens nucléaires et corpusculaires.

L'analyse de cette double spécificité conduit à questionner successivement, l'organisation du laboratoire au sein de l'institution IN2P3, la division des savoirs et l'organisation des professionnalités dans le contexte sociétal français, le mode de structuration de la recherche, le système d'évaluation et les relations du laboratoire avec l'espace économique et universitaire.

¹ Entretien Aigrain le 18 janvier 1996.

I – Création et développement du CPPM

1.1. Historique

L'implantation d'une équipe de physique des particules sur le campus de Luminy à Marseille a été rendue possible par la conjonction de plusieurs facteurs et de l'action d'un homme et de son équipe.

L'Université d'Aix-Marseille II abritait un groupe de physiciens théoriciens des particules actifs et ayant une notoriété certaine (E n° 15). Ce groupe constitué au sein du "centre de physique théorique" (CPT) souhaitait voir se développer une coopération stable avec des expérimentateurs sur un pôle localisé. A cette époque, le processus de recherche et les relations que celui-ci sous-tend entre théorie et expérimentation, fait du lien direct avec les expérimentateurs un avantage pour les théoriciens.

Par ailleurs, dans les années 1980, la physique nucléaire et la physique des particules étaient essentiellement localisées dans la région parisienne et les différents acteurs institutionnels et politiques (Cabinet du premier ministre, Ministères, CNRS, Région...) incitaient à la décentralisation. L'IN2P3 a donc utilisé ce courant pour développer certains sites (Caen, Strasbourg..) et prévoir de nouvelles implantations (Annecy, Marseille) en liant parfois celles-ci à la restructuration d'équipes parisiennes.

C'est dans ce contexte que Jean-Jacques Aubert, chercheur au LAPP, est nommé en 1980 –grâce à l'aide des physiciens du CPT– professeur à l'Université d'Aix-Marseille II et avec le soutien de Jean Yoccoz qui était alors directeur de L'IN2P3. En 1981, Aix-Marseille II crée une jeune équipe universitaire regroupant deux physiciens expérimentateurs : J.J. Aubert et un maître assistant, ancien chercheur du Laboratoire de Physique Corpusculaire du Collège de France. Grâce à l'appui des instances politiques (François Gros et Bernard Decomps) et régionales, la jeune équipe devient URA en 1982 et compte déjà un effectif de 7 chercheurs et ingénieurs ; cette progression rapide se maintient jusqu'à aujourd'hui pour atteindre une centaine de salariés (30 chercheurs, 65 ingénieurs et techniciens, 10 administratifs) et une dizaine de thésards (Cf. annexe : "Evolution du personnel du CPPM 1 et 2"). De plus, depuis sa création, le laboratoire a été soutenu par les instances régionales, départementales et par la ville de Marseille, il a

par ailleurs bénéficié de l'aide du CIAT en tant que laboratoire support du redéploiement des effectifs parisiens de la recherche vers la province.

Quelques chercheurs viennent donc au CPPM à partir de différents laboratoires de l'IN2P3 –en particulier de ceux de la région parisienne– (le CPPM devait en particulier être un laboratoire d'accueil pour les chercheurs du laboratoire du Collège de France dont il se disait alors, dans la communauté, qu'il devait être supprimé), de l'étranger (15% de membres du laboratoire sont étrangers). Mais l'augmentation rapide des effectifs provient surtout du recrutement de jeunes chercheurs. Le CPPM a bénéficié, en effet, depuis sa création d'environ un poste CNRS par an et d'un poste universitaire tous les deux ans (E n° 1). Les ingénieurs, ont encore plus massivement que les chercheurs, pu être recrutés directement, à partir d'un profil précis par la direction du CPPM.

En 1992, l'équipe de recherche associée devient unité mixte, et déménage en 1993 des locaux universitaires où elle était hébergée dans un nouveau bâtiment construit à cet effet sur un terrain universitaire, et avec l'aide des instances locales et du CIAT, par le CNRS.

Ce laboratoire se caractérise fondamentalement par rapport à d'autres plus anciens par le fait qu'il ne possède pas sur place de moyens de faire de l'expérimentation. Il est doté des outils intellectuels et techniques qui lui permettent d'intervenir scientifiquement et instrumentalement sur les grandes expériences (moyens de participer à la fois aux analyses physiques et moyens de contribuer à la réalisation des grands instruments et d'expériences), mais il ne lui est pas possible d'intervenir seul, il est placé dans une situation d'obligation de coopérer.

1.2. Administration du laboratoire par l'IN2P3

L'IN2P3 n'a pas eu un rôle moteur dans l'initiative de création du laboratoire, il a été plutôt un des incitateurs et un soutien de volontés locales, plus ou moins individuelles. Il a souhaité voir d'abord l'Université s'engager, vérifier l'intérêt des instances régionales puis s'assurer de la présence d'un leader scientifique capable de développer et de gérer le laboratoire avant de s'impliquer directement. Alors il n'a pas ménagé son soutien tant scientifique que matériel.

Ainsi, à partir d'une politique scientifique commune définie avec le directeur du laboratoire, l'IN2P3 s'est organisé pour planifier –sur plusieurs années– la montée en puissance du laboratoire en crédits comme en effectifs. Il a permis au directeur de tenir ses engagements scientifiques en externe et de définir et suivre une politique en interne (recrutement de jeunes chercheurs, de "senior", d'ingénieurs de haut niveau...). Ainsi, la direction de l'IN2P3 a-t-elle formalisé "un contrat d'objectifs" entre ses laboratoires et elle-même (signé en 1993 pour le CPPM), contrat qui stipule les engagements scientifiques pris par le laboratoire et les engagements réciproques en moyens (crédits et postes) de la direction scientifique (cf. annexe).

Dans cette relation avec l'Institut, le directeur de laboratoire joue un rôle essentiel. Il est en rapport direct avec la direction (réunion des directeurs de laboratoire avec la direction tous les mois), il apparaît plus que solidaire de la politique et des décisions de cette dernière, pour certains de nos interlocuteurs, il est partie prenante de la direction, il en fait partie. Mais en contrepartie, l'Institut lui permet d'avoir une politique de laboratoire –même si elle est décidée en commun– lui en donne les moyens et lui assure de son soutien en interne comme en externe. Il lui affecte directement les crédits de missions, les crédits de fonctionnement récurrents du laboratoire (infrastructure), des équipes et de la direction technique, c'est-à-dire tout ce qui, à part les missions, n'est pas imputable à une expérience spécifique. Mais s'il est le médiateur entre la direction et le laboratoire, il n'est pas, au contraire des autres laboratoires, dépendant d'autres département du CNRS, le seul relais organisé de la direction scientifique.

Les responsables d'expériences sont en effet en contact direct avec le directeur adjoint chargé de leur sous-secteur. Ce responsable a la charge d'organiser les différentes participations françaises sur un même accélérateur et sur une même expérience. Les responsables d'équipes négocient donc avec lui, leur intervention sur telle expérience avant d'être candidat devant le comité de sélection international de l'instrument, leur budget d'autorisations de programme (moyens en fonctionnement et en équipement) une fois qu'ils sont choisis. Les crédits afférents leurs sont alors directement affectés et ils les gèrent à partir d'une ligne budgétaire propre.

Ainsi si les grandes orientations du laboratoire sont décidées en concertation entre le directeur de l'IN2P3 et celui du laboratoire, la responsabilité du déroulement des opérations de recherche est assurée au niveau de l'équipe de recherche. Et de plus en plus, l'IN2P3 tisse des relations directes avec la direction technique par l'intermédiaire du

nouveau directeur technique de l'Institut, mais aussi grâce à l'implantation de logiciels communs aux différents services.

L'IN2P3 privilégie sa relation avec le directeur du laboratoire à qui elle a accordé sa confiance et dont elle fait un membre reconnu de son équipe de direction, mais elle ne se contente pas de ce lien spécifique avec le laboratoire. L'Institut organise autour du laboratoire un réseau de liens de dépendance qui marque sa présence; ce maillage lui permet de s'informer et de négocier à plusieurs niveaux, d'impulser sa politique et de la rendre effective.

Dans ce réseau, l'Université était, jusqu'à quelques années en arrière, peu présente, par opposition à la place tenue depuis toujours par la Faculté des Sciences de Luminy. Celle-ci a en effet, eu un rôle institutionnel premier dans la création du laboratoire (nomination de Jean-Jacques Aubert et création de la jeune équipe universitaire). Elle est aussi un pourvoyeur efficace et de façon quasi-récurrente, de postes d'enseignants/ chercheurs. Mais par rapport aux normes IN2P3 (énoncées par Laurent Beauvais)¹ qui prévoit que 50 % des crédits de l'IN2P3 sont gérés par l'intermédiaire des Universités et 50 % directement notifiés au laboratoire, le CPPM ne reçoit que 8 à 9 % de ses crédits de l'Université. L'Université est donc pour le CPPM une assise et un soutien premier et obligé, mais aussi une institution qui, dans la pratique, semble avoir abandonné le pilotage scientifique de ce laboratoire mixte à l'IN2P3.

1.3. L'organisation du laboratoire

Le laboratoire est marqué d'une part par sa "jeunesse", et d'autre part par sa position de "centre de ressources " en vue des expérimentations. Il est organisé selon une forme matricielle.

1.3.1. Cette jeunesse du laboratoire fait du fondateur/créateur du laboratoire une figure omniprésente. Il a été à l'origine de la création et de la politique de développement du laboratoire qu'il a négocié avec les institutions. Cette politique s'inspire d'un modèle anglo-saxon", où les contraintes institutionnelles et les différents "héritages" des organisations antérieures apparaissent moins prégnants. Elle avait pour objectif la constitution d'une équipe regroupant des physiciens, des physiciens appliqués

1 Exposé de Laurent Beauvais, 11 juillet 1995 au LEST.

et des ingénieurs de haut niveau mobiles et pouvant s'impliquer rapidement sur les grands projets européens. Elle ne prévoyait pas la création d'ateliers qui aurait nécessité des postes d'ingénieurs d'étude ou de techniciens.

Le directeur du laboratoire a, après l'avoir définie, contribué plus que tout autre à l'application de cette politique. Il a participé à la construction du collectif de recherche et à l'organisation du travail des équipes ; il a été à l'origine du recrutement et de la formation de la plupart des responsables d'expériences et de certains chercheurs et ingénieurs. Il a, par son action, "marqué" dans le temps l'avenir du laboratoire et il a créé des irréversibilités dans la trajectoire de celui-ci. Par exemple, il est remarquable de constater qu'un nombre non négligeable de chercheurs sont issus d'une formation initiale d'ingénieur, tandis qu'un bon nombre d'ingénieurs ont une formation complémentaire à la recherche (doctorat). Par ailleurs, ces derniers ont souvent eu préalablement à leur arrivée au laboratoire une expérience professionnelle dans des secteurs industriels particulièrement innovants. Les ingénieurs et les techniciens acquièrent, de plus, des compétences spécifiques grâce à des formations techniques sur les méthodes et les technologies de pointe dont ils ont besoin tout au long du processus (Cf. Annexe 5).

La position du directeur de laboratoire l'oblige pourtant, à **composer avec les responsables d'expériences**. Ainsi, à la création du laboratoire, pour attirer des chercheurs "seniors" prestigieux et ainsi doter son laboratoire d'une "réputation" dans le champ scientifique, réputation nécessaire pour se placer dans la compétition entre équipes et donc pour obtenir des moyens pour faire fonctionner son laboratoire, il doit passer des compromis. Ces compromis sont le résultat de négociations prenant en compte les précédentes recherches et les orientations individuelles de ces "seniors", ce qui peut parfois altérer sa stratégie première. Les accords ainsi obtenus portent aussi bien sur les choix scientifiques (participation à DELPHI et à H1), que sur le développement de certaines technologies. Par la suite, dans la phase de développement du laboratoire, se constituera autour du directeur du laboratoire une "équipe de direction" composée des responsables d'expériences, du directeur technique et de la responsable administrative, équipe qui gèrera plus collectivement les orientations du laboratoire.

La jeunesse du laboratoire lui a permis de bénéficier d'une **relative abondance de crédits** (due, en particulier aux crédits de première installation), et donc d'avoir une gestion souple entre crédits récurrents et crédits liés à des expériences et cela malgré l'absence de système de facturation interne. Mais, il semble évident que lorsqu'il recevra

une dotation "normale", lorsque les créations de postes seront moins nombreuses, les relations autour des ressources que sont les services techniques seront amenées à se tendre. Le futur directeur du laboratoire, comme probablement les directeurs des laboratoires ayant plus d'ancienneté et un mode d'organisation similaire, devra alors se créer un espace d'autonomie entre les réseaux tissés par l'IN2P3 et les tensions du collectif de travail.

1.3.2. Le CPPM n'a pas été conçu comme un lieu d'expérimentations. Celles-ci se font au CERN ou à Hambourg. Le laboratoire est une organisation chargée de préparer en association avec d'autres équipes ("la collaboration") une expérience donnée, il collabore à la conception et à la construction du détecteur qui permettra cette recherche. Ce détecteur est contrairement à ce qui se passe en physique nucléaire, installé définitivement sur l'accélérateur et même s'il est réparé ou si ses performances sont améliorées, il reste sur le lieu de l'expérimentation à la disposition de l'ensemble de la collaboration.

Le laboratoire est donc organisé pour s'intégrer au mieux dans cet espace de production de connaissances, pour prendre dans ce processus la place de ce que Pierre Papon (1989) appelle "la base arrière" par rapport à l'organisation support du grand instrument. Il a donc vocation à être complémentaire des configurations européennes comme le CERN.

Par ailleurs, une recherche en physique des particules nécessitant une expérimentation sur un accélérateur prend la forme d'un projet très procéduré (cf. figure 2) où les différentes temporalités de la recherche ainsi que les interventions des différents métiers sont programmées. La mise au point de l'appareillage, puis l'analyse des résultats "s'accompagne de la mise en place de structures d'organisation et d'information de type quasi-industriel" (Papon).

1.3.3. La nécessité pour le CPPM d'avoir une organisation complémentaire de celle des organismes européens et de s'insérer dans des projets très procédurés l'ont donc conduit à se doter d'une organisation de type matriciel (Annexe 6 : organigramme). Les différents chercheurs travaillant au niveau européen sur une même expérience sont rassemblés dans un "groupe d'expérience" sous l'autorité d'un responsable. La direction technique est constituée de différents services spécialisés dans différentes techniques. Selon les moments du processus de production des connaissances, les responsables

d'expériences utilisent comme des ressources les compétences de cette direction. Ce sont ces responsables d'expériences qui sont considérés par les comités de programme des grands instruments comme les interlocuteurs et les garants scientifiques des engagements pris. Ils sont les responsables du projet en interne et le correspondant du laboratoire face à la "collaboration".

L'actuel directeur du laboratoire du fait de sa qualité de fondateur ne peut être exclu des orientations/négociations autour des expériences. Il tient de plus son pouvoir de son rôle institutionnel dans l'affectation des ressources humaines (chercheurs et ingénieurs instrumentalistes sur une longue durée et de façon plus courte des ingénieurs et techniciens) et des moyens financiers en fonctionnement courant et en missions. De la visibilité sur l'ensemble du système, il tire la possibilité de gérer les tensions qui se font jour dans l'affectation des ressources humaines (en particulier s'agissant des instrumentalistes). Et bien qu'il n'ait pas une autorité directe sur les groupes d'expériences, l'organisation de type matriciel et son pouvoir hiérarchique direct sur le service technique lui permet de suivre les engagements pris au nom du laboratoire auprès des institutions internationales gérant les grands instruments et donc de renforcer son pouvoir sur l'ensemble du système.

Le mode d'organisation et de fonctionnement choisi par l'IN2P3 pour remplir sa mission vis-à-vis des laboratoires se caractérise par la volonté de créer des interactions fortes entre le centre et la périphérie, pour nier l'opposition entre l'administration et les unités de production de la recherche. Pour montrer que le pouvoir de décision n'est pas exclusivement dans un seul lieu, il construit des réseaux de relations directes et rapides par rapport à celles entretenues par les autres directions scientifiques du CNRS, (réseaux entre des acteurs multiples). En privilégiant ainsi l'entité "Institut", la direction scientifique a tendance d'une part, à minorer les relations des laboratoires entre eux et, d'autre part à préférer la cohésion de ce dernier à celle du laboratoire.

Par ailleurs, la spécificité de la division des tâches entre un organisme gérant un accélérateur et un laboratoire "base arrière" regroupant les chercheurs fait de la forme laboratoire une organisation "ouverte" sur le processus de production et cohérente par rapport à celui-ci mais dont la cohésion paraît de prime abord problématique.

II – La coordination des espaces professionnels

La création du CPPM correspond à un moment de l'évolution scientifique (Bimbot et Paty)¹, où les relations entre théorie et expérimentation se modifient et où l'imbrication entre la science et la technologie est de plus en plus forte. Ainsi alors qu'il y a une trentaine d'années, *"la théorie faisait la course derrière la physique expérimentale"*, les inter-actions entre elles étaient permanentes, aujourd'hui, il y a *"des théories à revendre"* et l'expérimentation ne peut avoir comme objectif de les vérifier toutes. De plus, la physique en s'intéressant à la création des particules nouvelles a eu besoin d'instruments plus importants *"Des moyens artisanaux de connaissance, on est passé à des accélérateurs très puissants, qui permettent d'approfondir la structure la plus fondamentale de la matière"* (Leprince-Ringuet). La recherche s'est peu à peu organisée en *"opération quasi-industrielle"* (Papon) et en projet très procéduré. Ce qui implique des choix scientifiques précis et des investissements intellectuels et matériels à mobiliser de manière sélective.

Le processus de production des connaissances a donc imbriqué des savoirs de plus en plus variés, différentes configurations de recherche, des systèmes d'évaluation variés, il met en cause des professionnalités d'acteurs diverses. La hiérarchie traditionnelle des disciplines instituée en France ainsi que la construction des grands accélérateurs en dehors des laboratoires ont été aussi à l'origine d'un nouveau partage des activités scientifiques. Cette répartition révèle des formes d'investissements différents pour les acteurs de la recherche selon les métiers exercés qui les amènent à prendre des risques différents, selon les moments du processus.

Ainsi, le physicien théoricien n'a pas vraiment besoin de s'inscrire dans des collaborations humaines et instrumentales, ses référents sont d'abord mathématiques tandis que l'expérimentateur est confronté à la réalisation d'instruments de détection et de mesure qui passent eux-mêmes par des coordinations très précises avec des ingénieurs et techniciens.

Par ailleurs, les différents acteurs de ce processus ne sont pas tous issus des mêmes formations, ils n'ont pas le même statut, ils n'ont pas eu la même histoire

1 Bimbot R. et M. Paty (Projet) : Vingt cinq années d'évolution de la physique nucléaire et des particules.

professionnelle, ne sont pas possesseurs des mêmes types de savoirs et ne participent pas au même système hiérarchique. Il s'agit donc de mettre en évidence le cheminement (figure 2) de ces différents encastremements tout le long du processus grâce aux différentes relations qu'entretiennent les acteurs avec cet espace scientifique particulier, afin de comprendre comment fonctionne en dynamique le "triangle" : théoriciens, expérimentateurs, ingénieurs.

En fait, ce triangle (figure 3) s'il permet de schématiser les relations sous-tendant ce système, recouvre une réalité beaucoup plus complexe où s'immiscent des fonctions et des professions intermédiaires servant soit de traducteurs entre des savoirs spécifiques, soit de médiateurs entre des intérêts scientifiques différents, soit, même, de généralistes au milieu de métiers différents.

Entre ces fonctions et ces professions s'organise une division des tâches, se crée une coopération, mais apparaissent aussi des tensions plus ou moins productrices d'efficacité pour la recherche.

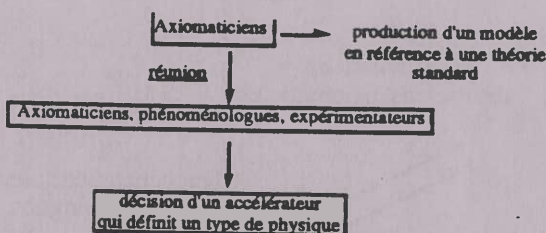
2.1. Le couple théoricien-expérimentateur

La communauté productrice du choix de construire un accélérateur (cf. Chapitre IV) regroupe à la fois des physiciens théoriciens et des physiciens expérimentateurs, les premiers ayant une influence prépondérante dans cette coopération. Ces différents physiciens dépendent, en France, de laboratoires rattachés au Département Mathématiques et Physique de base du CNRS pour les premiers et de l'IN2P3 pour les seconds ; ils sont rattachés à des commissions d'évaluation différentes : la commission 02 "Phénomènes physiques, théories et modèles", et la commission 03 "Des particules aux noyaux". Il n'y a pas de physicien se réclamant de la physique théorique au CPPM et tous les chercheurs CNRS sont évalués par la commission 03.

Après que soit prise la décision de construction d'un accélérateur, la communauté des physiciens expérimentateurs regroupés par équipes proposent à l'autorité scientifique de l'organisme gestionnaire du grand instrument (CERN, DESY à Hambourg...) des projets de détecteur ayant des objectifs scientifiques identiques mais s'appuyant sur des technologies différentes. La proposition de chacune des équipes dépendant d'un même laboratoire est à la fois de réaliser une certaine analyse physique de données et de prendre

Figure 2

Première phase : Décision de construction d'un accélérateur



Deuxième phase : sur cet accélérateur, proposition d'expérience à l'intérieur d'un type de physique

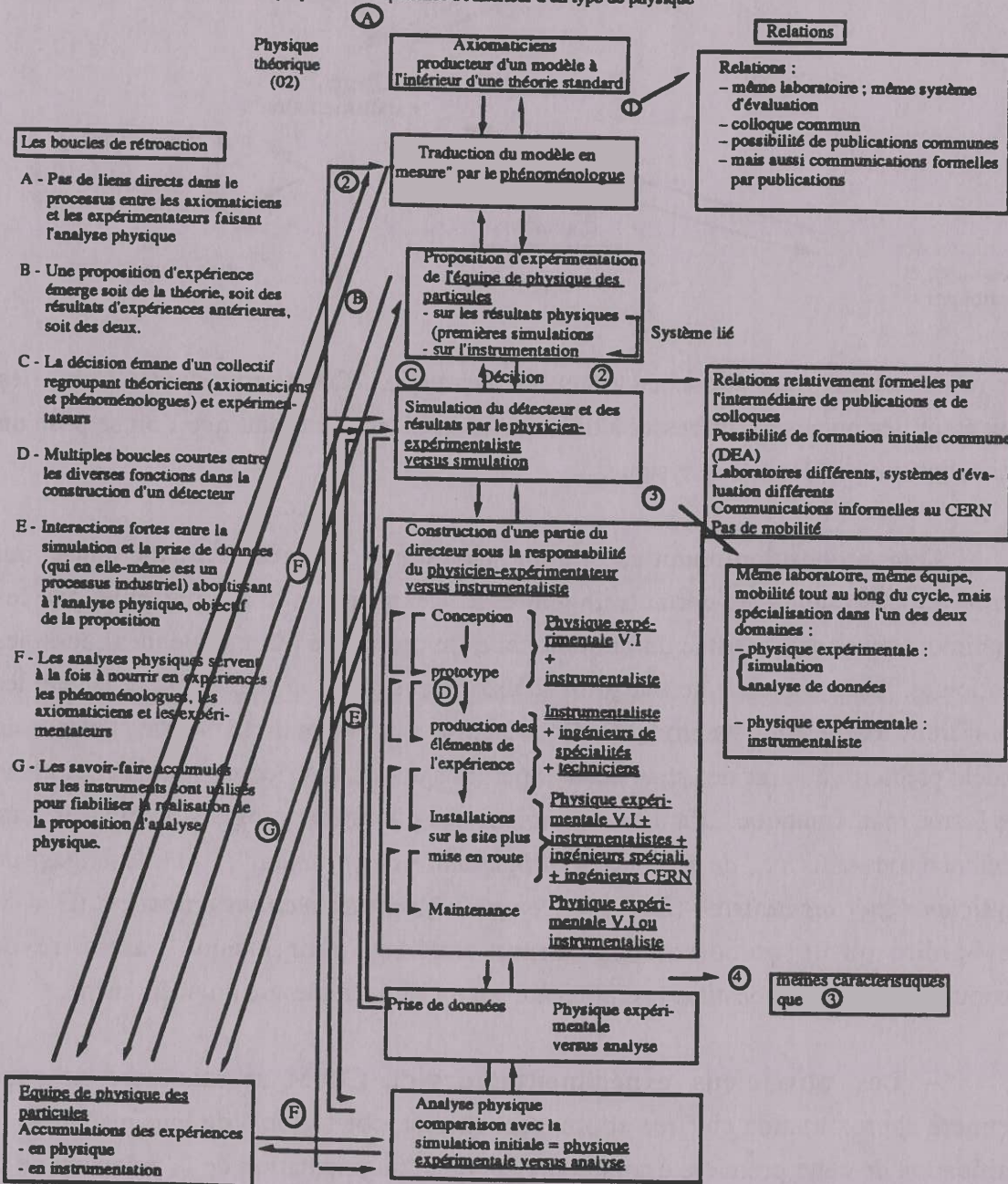
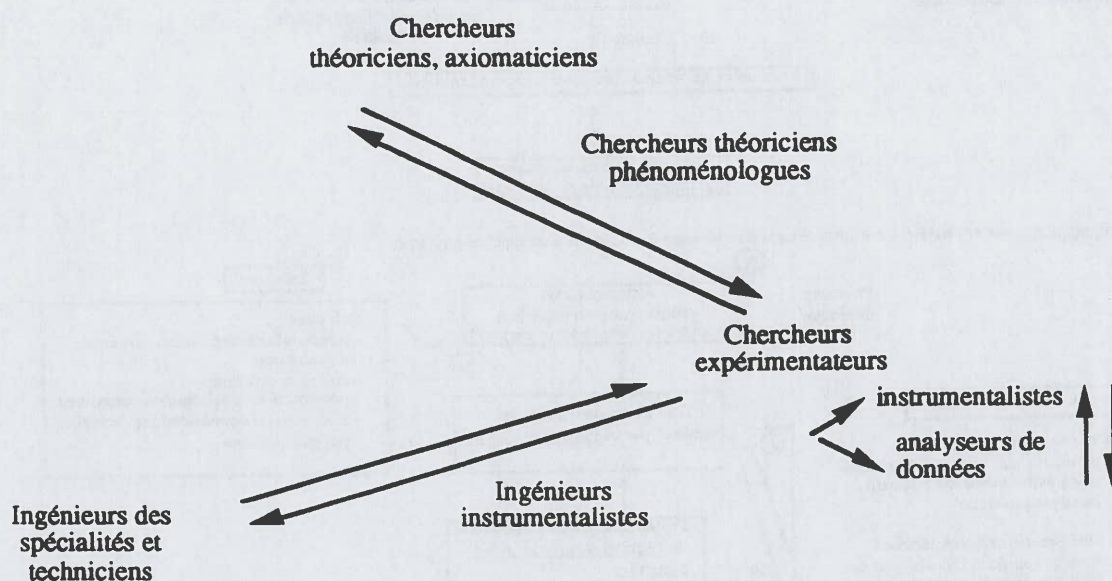


Figure 3



une responsabilité dans la conception et la construction d'une partie du détecteur. Les deux étant liés puisque s'intéresser à telle partie du détecteur induit que l'on se pose un certain type de problème de physique.

Cette proposition réunit au sein du laboratoire, un "groupe d'expérience" qui réunit les chercheurs et certains ingénieurs. Ce projet, s'il est présenté par les expérimentateurs ne constitue qu'un moment d'un processus où interviennent aussi les théoriciens. Ainsi une certaine catégorie de théoriciens que l'on se propose d'appeler les **théoriciens axiomatiques** produit à l'intérieur ou à la marge de la théorie standard un modèle prédictif, à partir des résultats d'expérimentations antérieures, modèle qui prend une forme mathématique. D'autres théoriciens, les **phénoménologues**, traduisent cette prédiction sous la forme "*de particules et d'interaction de particules*", "*dans le langage du physicien expérimentaliste*" (E n° 11), "*en prévoyant des sections efficaces*" (E n° 8) c'est-à-dire qu'ils proposent des bornes chiffrées pour chaque paramètre de l'axiomatique, ce qui constitue une première approche de la mesure du phénomène.

- Les **physiciens expérimentateurs** du CPPM se saisissent de cette première approximation chiffrée et prennent comme objet global de leur recherche la vérification de cette première estimation ainsi que l'augmentation de la précision de la prédiction (c'est-à-dire qu'ils cherchent à diminuer l'amplitude du bornage proposé par le

phénoménologue) et donc la justification ou la remise en cause du modèle afférent. Pour ce faire, ils font une simulation sur informatique des résultats de l'expérimentation à partir d'un détecteur lui-même virtuel.

Consécutivement ou parallèlement, les expérimentateurs ont en charge la partie instrumentale du projet; ils ont la responsabilité de la conception et de l'organisation de la production d'une partie du détecteur avec les différents ingénieurs du laboratoire puis de son installation et de sa mise en route avec les permanents (chercheurs ou ingénieurs) du CERN ou de DESY. Une fois l'instrumentation au point, les physiciens expérimentateurs participent aux différentes prises de données (shifts) sur le site de l'accélérateur. Les résultats de l'expérimentation sont, alors, analysés au CPPM ce qui représente un travail de tri, de traitement et de reconnaissance des données pertinentes, données qui devront être comparées avec la simulation des résultats effectuée dans la phase antérieure. En cas d'incohérence entre la simulation et les résultats de l'expérimentation, la simulation des expérimentateurs sera d'abord remise en cause, puis viendra éventuellement le tour des mesures indicatives du phénoménologue, et dans certains cas ultimes celui du modèle prédictif de l'axiomaticien.

– **Les théoriciens**, axiomaticiens ou phénoménologues, sont réunis dans les mêmes laboratoires et évalués par la même commission. Ils ont reçu une formation classique, où les mathématiques sont valorisées, et homogènes, ils sont souvent issus de Normale Supérieure. Dans la hiérarchie des disciplines telle qu'elle est déclinée en France comme un système de valeur immuable, les axiomaticiens tiennent les premières places. Le travail des théoriciens est individuel ou il ne réunit que des collectifs légers; les laboratoires comme le CPT ont des infrastructures limitées et des moyens matériels essentiellement informatiques, ils ne regroupent que peu d'ingénieurs et de techniciens. Les théoriciens ont des colloques communs, ils peuvent éventuellement publier conjointement. Leurs communications sont aussi bien formelles qu'informelles. Les chercheurs sont relativement mobiles entre les différents thèmes de recherche, thèmes qui ne les mobilisent que pour une durée restreinte. Entre les deux spécialités –axiomaticiens et phénoménologues– il peut y avoir des mobilités.

– **Les physiciens expérimentateurs** sont regroupés dans leur majorité dans des unités mixtes sous la tutelle de l'IN2P3. Ces laboratoires comme le CPPM sont de taille conséquente, ils sont composés de chercheurs, d'enseignants mais aussi d'un nombre important d'ingénieurs et de techniciens regroupés dans des services techniques.

Les investissements en matériel technique sont lourds. Le travail est organisé par équipes de chercheurs. La formation initiale des expérimentateurs n'est pas très différente de celle des théoriciens et l'orientation du jeune étudiant se fait au moment de la thèse. Les relations de ces derniers avec les théoriciens sont le plus souvent formalisées par l'intermédiaire de publications, de colloques, de réunions ad hoc, par l'organisation de DEA communs. Les communications informelles entre les deux communautés ont surtout lieu au CERN. Il n'existe que peu de mobilité entre ce qui peut apparaître, dans un premier temps, comme deux espaces professionnels distincts. Les théoriciens et les expérimentateurs n'étant pas évalués par les mêmes commissions, les transferts de chercheurs sont difficiles, chaque commission estimant n'avoir ni les compétences ni la légitimité suffisante pour juger de la pertinence d'une telle mobilité. Ces commissions ne trouvent elles-mêmes, par ailleurs leur cohérence et leur justification que grâce à la proclamation de la spécificité de leur espace scientifique et professionnel. Ainsi, les théoriciens s'attachent à leur lien avec les mathématiciens, tandis que les expérimentateurs défendent leur capacité théorique à concevoir des instruments. A l'intérieur de ces frontières qui sont un construit social spécifiquement français, les phénoménologues ont du mal à trouver une place (Yoccoz).

La constitution de deux espaces professionnels distincts explique en partie la difficulté des expérimentateurs à rétro-agir sur les tâches dévolues aux théoriciens, les interfaces et les traductions douloureuses entre différents vocabulaires, la nécessité de procéder aux transmissions de savoirs.

Pourtant cette cassure entre deux communautés distinctes n'est pas si nette lorsque l'on considère plus attentivement la catégorie des **physiciens expérimentateurs**. Ces chercheurs interviennent différemment à trois moments différents du processus de production des connaissances. D'abord lors de la simulation, puis dans la construction et la maintenance des détecteurs et enfin dans l'analyse des données. Chaque expérimentateur est supposé, selon les phases du projet et selon son propre déroulement de carrière, participer simultanément à chacune de ces opérations. Ainsi, à moins de faire une thèse en instrumentation, le jeune doctorant est plutôt affecté à la simulation ou à l'analyse de données pour pouvoir produire des résultats individualisables et respectant les délais impartis à l'exercice. Il peut ensuite avoir une responsabilité dans l'instrumentation. Malgré la volonté du système d'évaluation et de la direction des laboratoires de privilégier ces mobilités le long du cycle de production des connaissances, on observe une relative spécialisation des chercheurs, soit dans l'analyse

physique, c'est-à-dire dans la simulation et l'analyse proprement dite des données, soit dans l'instrumentation autour de la construction des détecteurs. Les différents entretiens effectués ont confirmé cette tendance et la préférence très nette des chercheurs pour l'une ou l'autre des activités. Et bien qu'un nombre non négligeable de chercheurs du CPPM soit issu de formations d'ingénieur, la formation initiale n'est pas un critère pertinent pour comprendre l'orientation d'un chercheur vers des activités d'analyste ou d'instrumentaliste. Ces activités ne sont pas immuables dans le sens où elles ne figent pas les qualifications. Mais les temporalités de simulation et d'analyse des données comme celles de conception d'un instrument étant longues à l'intérieur d'un même projet, on constate une relative spécialisation des acteurs entre les différents moments du processus.

Les physiciens expérimentateurs travaillant en analyse ont des tâches relativement individualisables et des savoirs liés à la simulation de mesures et à l'outil informatique qui sont proches de ceux du phénoménologue. Ce sont eux qui recherchent le plus les opportunités de coopération ou de rencontre avec les théoriciens, mais ce sont aussi les plus jeunes qui ont reçu un enseignement commun lors du DEA et les enseignants qui ont des liens institutionnels plus forts avec l'ensemble de la communauté des physiciens d'Aix-Marseille II. Alors que les phénoménologues ont un rôle de traducteur des théoriciens, les expérimentateurs orientés vers l'analyse semblent être des médiateurs de l'ensemble des expérimentateurs vers les théoriciens.

Les deux espaces professionnels des théoriciens et des expérimentateurs sont donc interdépendants l'un de l'autre dans un même cycle de production de connaissances. Mais à l'intérieur de ces espaces, la constitution de blocs de savoirs comme la construction des professionnalités des acteurs créent à un moment donné, des spécialisations qui peuvent conduire à des différenciations définitives en métier.

2.2. Les physiciens expérimentateurs et les ingénieurs¹

Le CPPM n'a officialisé que depuis peu l'organigramme qui fixe la position de chacun dans le collectif. Cet organigramme pérennise la division du laboratoire entre, d'une part les groupes de physique et d'autre part la direction technique. Après dix ans de

¹ Dans ce cas, on confond ingénieur avec l'ensemble du personnel technique.

fonctionnement informel entre les différentes compétences, il est un des signes de la volonté de la direction de s'organiser officiellement de façon matricielle (cf. Annexe 6).

– **Les physiciens expérimentateurs** sont répartis dans différents groupes sous la responsabilité hiérarchique d'un chef de groupe. Ces équipes rassemblent des chercheurs, des enseignants/chercheurs, des thésards et certains ingénieurs. Selon la phase de l'expérience –instrumentation ou analyse– ces groupes disposent de plus ou moins de doctorants et de plus ou moins d'ingénieurs. Le projet ALEPH cumule en ce moment ces différentes phases puisque certaines tâches sont liées à la continuation de l'expérience sur le LEP et d'autres à la mise en service de LEP200. Ainsi une partie des chercheurs analysent les données des dernières campagnes à partir d'une même problématique de recherche mais en ayant individuellement un objet particulier. D'autres ont la charge de satisfaire aux engagements pris par l'équipe du CPPM auprès de la collaboration, par exemple la responsabilité du système de gaz pour le calorimètre. Il ne semble pas aisé de trouver des volontaires –chercheurs ou ingénieurs– pour ce type de tâches de maintien en état d'une installation, les contraintes et les implications y sont, en effet, lourdes tandis que les apprentissages scientifiques ou technologiques dont peut bénéficier le responsable semblent faibles. D'autres encore, les physiciens expérimentateurs orientés vers l'instrumentation sont en charge de l'amélioration du détecteur de vertex à installer sur LEP200, c'est-à-dire qu'ils effectuent un travail en relation directe avec les ingénieurs. Les expérimentateurs qui participent à l'invention et à la conception d'un nouvel instrument sont toujours des physiciens

– **La direction technique** réunit trois services, le service électronique, le service informatique et le service mécanique ; les services généraux et un groupe instrumentation. Elle est placée en situation de service par rapport aux différents groupes d'expériences. Le service électronique est composé, d'une part de petites unités rassemblant des ingénieurs (pour la grande majorité d'entre eux ingénieurs de recherche) selon leurs spécialités (ingénieurs cartes et systèmes ou ingénieurs micro-électronique) et sur des technologies définies (fibres analogiques, cellules pixels..), d'autre part des moyens techniques réunissant en pool les techniciens sous la responsabilité directe du chef de service. L'organigramme du service mécanique n'est qu'un regroupement des catégories statutaires : la cellule des chargés de projets rassemble les ingénieurs, celles des projeteurs les assistants/ingénieurs et celle des techniciens/atelier, la catégorie T du statut des personnels du CNRS. Le service informatique est organisé en trois groupes : temps réel, support expérience, exploitation-système. Les responsables de ces services

n'ont pas créé d'organisation hiérarchisée, ils n'ont pas délégué leur autorité et ont gardé entièrement leur possibilité de délégation du personnel sur un projet ou sur un autre. Le personnel technique n'est, en effet, pas affecté sur une expérience à l'exception de certains ingénieurs : ceux rassemblés directement sous l'autorité du directeur technique dans le groupe d'expérimentation et de ceux du groupe support d'expériences du service informatique.

On retrouve donc ces ingénieurs particuliers à la fois dans l'organigramme des chercheurs et dans celui des ITA. Cette position signifie qu'ils sont affectés pour une durée relativement illimitée au projet, mais cela ne veut pas dire qu'ils ont la même autonomie que le chercheur ou même qu'ils ont eu le choix de leur affectation. Les ingénieurs des services techniques sont eux mis à la disposition du responsable de groupe d'expérience par le chef du service technique compétent pour une tâche bien définie et une durée précise. Les techniciens sont utilisés selon les besoins de chaque ingénieur mais avec l'aval du chef de service, aucun ingénieur n'est en position hiérarchique directe vis-à-vis d'un technicien.

Alors que le responsable officiel des ingénieurs comme des techniciens est le chef de service technique, chaque membre du personnel technique quelque soit sa position dans l'organigramme, voit dans le responsable du groupe d'expérience son "*vrai patron*". Celui-ci apparaît, en effet comme le responsable du projet, c'est-à-dire de la production de connaissances qui constitue la finalité même du laboratoire, il utilise dans ce but les services techniques comme une ressource. Le responsable du service technique représente pour les ingénieurs et techniciens le lien avec les savoirs spécifiques, avec leur métier, il joue un rôle d'expert d'un domaine technique ou d'une façon de produire, il est leur référence en matière de formation, d'apprentissage et leur recours lorsque la charge de travail est trop importante ou remet en cause la qualité du produit. Il constitue en quelque sorte, dans une organisation hiérarchique par projet, une niche de protection du patrimoine des métiers ("*la volonté de la direction d'organiser les techniciens par service, pour créer une sorte de corporatisme, que chacun puisse se retrouver dans un métier*" E n° 3), des savoirs professionnels, un agencement particulier permettant le renouvellement des ressources techniques du laboratoire.

– **Les ingénieurs instrumentalistes** tiennent une place particulière dans le processus de production des connaissances, même s'ils sont par rapport à l'ensemble de la catégorie ingénieur peu nombreux. Ils sont affectés directement aux groupes

d'expériences et inscrits en quelque sorte "pour ordre" dans la direction technique, ils constituent une population hybride entre les chercheurs et les ingénieurs. Pour certains chercheurs, *"ils ont le rôle de chercheurs tournés vers l'expérimentation"* (E n° 25), ce qu'ils reconnaissent en partie tout en précisant qu'ils ne participent pas aux décisions en matière de recherche prises entre chercheurs au sein du groupe d'expérience. Pour d'autres, chercheurs ou ingénieurs, ce sont des ingénieurs généralistes *"qui s'intéressent à la physique du détecteur mais pas forcément à la physique que l'on veut faire avec le détecteur."*(E n° 7).

Cette singularité semble être à la source de tensions lors des mobilités ou transferts de ces ingénieurs entre les projets : certains responsables des groupes d'expériences considèrent que comme *"ce sont plutôt des chercheurs, ils veulent faire leur propre truc et mettre leur propre idée, il est difficile de dire à X, tu arrêtes pour t'occuper de..."*; le directeur technique préconise, lui, que soit créé un service d'instrumentation inséré comme les autres services dans la direction technique.

La formation de ces ingénieurs instrumentalistes se rapproche de celle de certains chercheurs, *"on a la même formation"* dit un chercheur (E n° 25), c'est-à-dire qu'ils ont une double formation initiale d'ingénieur et de physicien. Ils ont de plus construit leur professionnalité spécifique par de multiples expériences autour des "grands instruments".

Leurs tâches sont, d'abord avec les physiciens instrumentalistes, de concevoir le détecteur, de construire le prototype, puis d'assurer la coordination des différents ingénieurs de spécialités (*"ce ne sont pas des donneurs d'ordre mais des prescripteurs"* E n° 3) et d'assembler leur production. Ils sont en nombre suffisamment restreint pour constituer une équipe soudée, qui échange les savoirs acquis lors des expériences diverses auxquelles ils participent au sein du laboratoire. Ils participent avec quelques chercheurs instrumentalistes, à la réflexion et à la conception de l'instrument. Ils n'inventent pas réellement de nouveaux instruments mais sur prescription des physiciens ils extrapolent à partir des réalisations antérieures, ils conçoivent, ils innovent par des bricolages multiples. Même s'ils n'en ont pas la fonction ni la responsabilité, ils semblent assurer l'interface entre les groupes d'expériences et les services techniques, et surtout entre les physiciens expérimentateurs et les ingénieurs de spécialités. Ils participent à toutes les négociations et aux compromis entre les différents acteurs de la construction du détecteur. Etant à la fois ingénieur généraliste et physicien, ils sont des traducteurs entre des savoirs spécifiques et des médiateurs entre les métiers très spécialisés. Au sein du

laboratoire comme dans le processus de production des connaissances, ils constituent un noeud des interactions entre les différents acteurs.

Il est parfois difficile de distinguer au sein du CPPM, les individus ayant le statut de chercheurs de ceux ayant le statut d'ingénieur : les instrumentalistes sont le meilleur exemple de cette difficulté. Au regard des formations initiales, la catégorie d'ingénieur paraît posséder un niveau de diplôme quasiment équivalent à celui des chercheurs. Et un des responsables de groupes d'expériences, chercheur éminent, est rémunéré sur le statut d'ingénieur de physique nucléaire et des particules et est donc exclu du système d'évaluation national. Ce brouillage relatif mais objectif des catégories n'empêche pas la reproduction simple du système de valeur en vigueur traditionnellement dans le champ de la recherche académique. Les chercheurs défendent leurs propres règles, leurs temporalités, leurs contraintes, les enseignants/chercheurs participent à ce même espace professionnel tout en défendant leurs spécificités, tandis que les ingénieurs s'arquent sur leurs diplômes, leurs expériences antérieures et leurs métiers.

Ce long cycle de production des connaissances traverse des espaces professionnels, pour le moment, distincts (espace et temps). Pour assurer les interactions des uns avec les autres et pour perpétuer la dynamique du processus, certains acteurs, phénoménologues et ingénieurs instrumentalistes, constituent des relais permettant que la relation se développe et s'établisse. Leur qualité est d'avoir su construire leur professionnalité de façon intermédiaire aux espaces professionnels établis et d'assurer ainsi la cohésion globale du système.

III – La structuration de la recherche

3.1. La segmentation de l'activité de recherche

La description du fonctionnement du CPPM qui vient d'être faite permet de définir une trajectoire scientifique bien réfléchie. Les moyens mis à la disposition du laboratoire et le développement coordonné des différentes professionnalités ont été quasiment programmés pour un fonctionnement international. Il est donc tout à fait intéressant de définir encore plus précisément les ressources engagées dans une telle organisation.

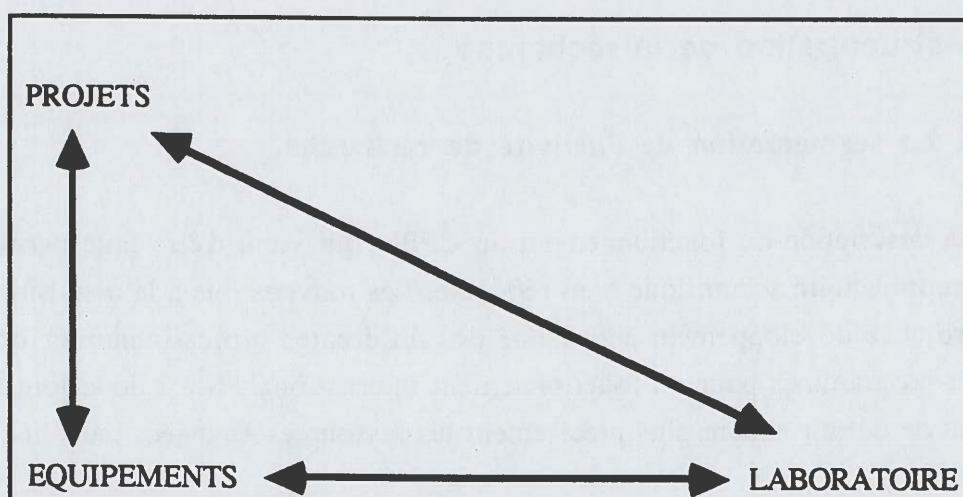
Le fonctionnement d'un programme de recherche est basé sur l'articulation de trois types de ressource (figure 4).

– C'est tout d'abord une équipe de recherche du CPPM qui s'engage dans une collaboration. Elle reçoit bien entendu le soutien scientifique et technologique de son laboratoire. Cette équipe va devoir s'insérer dans un projet d'expérimentation rassemblant des dizaines d'autres équipes.

– Le projet d'expérimentation se dote d'un conseil scientifique et de porte-parole qui, eux, vont devoir négocier le dossier vis-à-vis des commissions des accélérateurs. Ce type d'expérience peut être à la fois envisagé comme projet mais également comme ressource dans la mesure où la disponibilité des résultats de physique dégagés permettront de conforter les différentes équipes et la collaboration dans son ensemble. Ceci représente un gage de reconduction de la collaboration auprès de l'accélérateur.

– L'équipement utilisé (les accélérateurs du CERN et de DESY) représente une ressource gérée par un comité sur chaque site. Il s'agit ici de gérer de la disponibilité en sélectionnant les projets sur une base scientifique et technologique. L'accélérateur peut être considéré comme une ressource rare au moment de la montée en compétition des projets d'expérimentation, le degré de rareté s'améliore lorsque les utilisateurs réguliers sont reconnus par les instances de l'équipement.

Figure 4



La construction d'un accélérateur et la configuration de celui-ci sont, pour la communauté des physiciens des particules, un élément de politique scientifique qui conditionne la physique des vingt prochaines années (*"Construire LHC, c'est dire qu'on se met en condition de trouver le boson de Higgs, sinon c'est une déviation par rapport au modèle standard"* Entretien n° 12). Le processus de décision est long (environ 10 ans). Dans un premier temps, les "seniors" de la discipline au niveau international discutent des orientations scientifiques futures de la physique et de l'opportunité de disposer d'un nouvel instrument. Ces débats, la plupart du temps informels, se déroulent en marge des colloques, des écoles d'été. Puis, peu à peu, les réunions au sein de la communauté s'institutionnalisent (Colloques, réunions ad hoc...), puis les organismes de recherche et les pouvoirs politiques nationaux (Académie des Sciences, Ministères ...) interviennent dans le processus de décision.

Ces trois groupes de ressource sont ainsi guidés par des organismes comme le comité des grands instruments et des institutions parfois très délicates à cerner comme la communauté scientifique internationale qui va sélectionner en amont les expérimentations intéressantes dans les 10 à 20 ans à venir.

Une telle lecture de la structuration de la recherche s'avère donc complexe (figure 5). Nous établirons une lecture partielle en portant l'accent sur les trois premières ressources envisagées.

3.1.1. L'équipe engagée dans une expérimentation

Le cycle de vie d'une expérimentation varie entre 10 et 15 ans, ses différentes phases nécessitant des investissements et des collaborations différentes.

Lorsque l'on a défini l'objet de la recherche, c'est-à-dire lorsque le projet que l'on a soumis au comité d'évaluation du CERN a été retenu, il s'engage un protocole d'expérimentation qui peut être décrit de la manière suivante.

Au tout début de la définition de l'objet de recherche, on procède à des simulations, les plus fines possibles, afin de tracer les modalités d'atteinte des résultats escomptés. L'événement que l'on va provoquer grâce à l'accélérateur est donc anticipé : conditions d'expérimentation (température, vitesse) ; conditions d'enregistrement des

événements (nombre d'enregistrements, bruits possibles...). Ceci fait, la construction du détecteur va être engagée, c'est une phase assez longue du projet, sans doute celle qui réclame le plus de coordination entre les différents intervenants. Il faut, ici, distinguer les détecteurs de la physique nucléaire de ceux de la physique des particules. Les premiers sont généralement de construction plus légère, facilement transférables d'un laboratoire à un site d'expérimentation, et surtout, leur montage est beaucoup plus simple que ceux utilisés en physique des particules. Pour celle-ci, on peut dire que le détecteur représente un moyen stratégique pour la communauté des scientifiques.

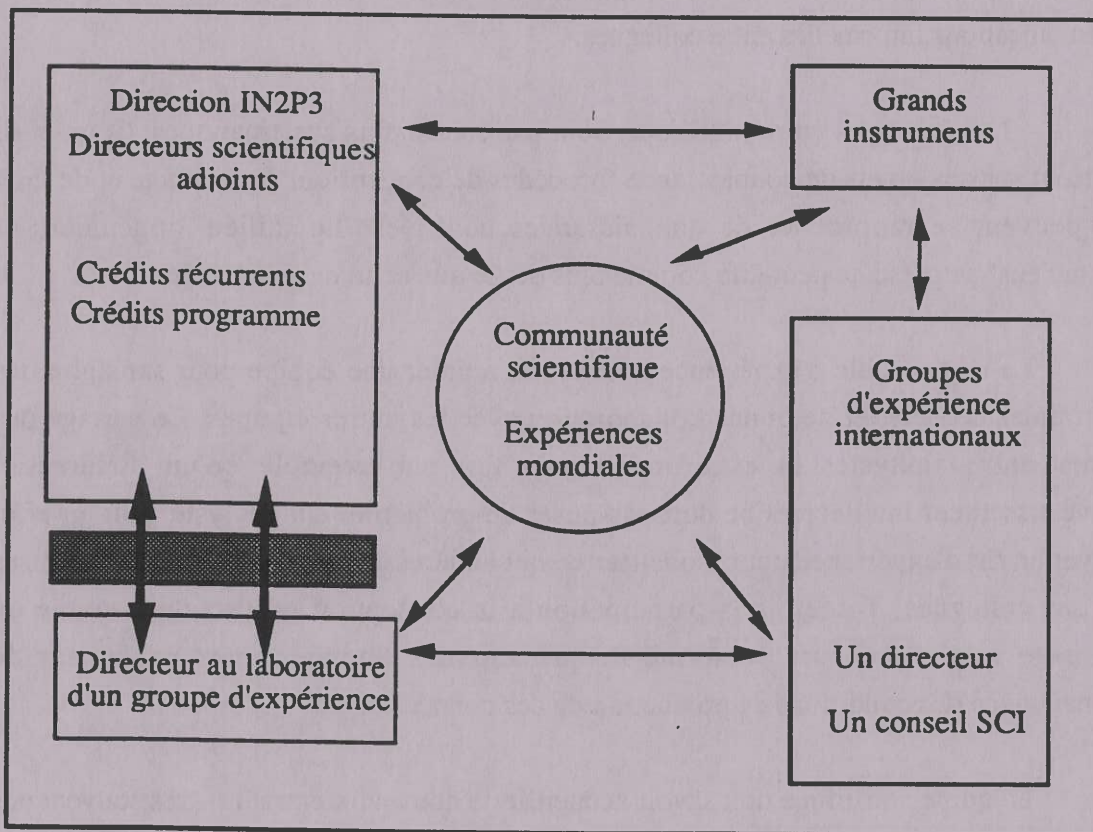
On procède également à une simulation du détecteur afin de vérifier ses potentialités et ses éventuelles défaillances. Lorsque le détecteur est prêt on l'installe (de façon quasi définitive par rapport à ce qui se passe en physique nucléaire sur GANIL) sur l'accélérateur du site d'expérience, puis on effectue des tests de fonctionnement. Vient ensuite le moment de l'expérimentation durant plusieurs mois. Le bon fonctionnement du détecteur ainsi que de la prise de données sont testés à intervalles réguliers. L'expérimentation se termine avec l'analyse des données que l'on a pu recueillir. A ce stade l'accélérateur n'est plus sollicité mais la recherche continue avec l'interprétation des événements enregistrés et la production d'un résultat scientifique principal (celui de la collaboration), et de résultats dérivés.

C'est donc un temps long de recherche qui implique des professionnalités et des étapes de carrière différentes. La temporalité de la recherche exige une certaine stabilité de la collaboration : même si de nouvelles équipes peuvent rejoindre ou quitter la collaboration et même si les possibilités d'analyse peuvent se renouveler en cours de route, on ne peut pas dévier de l'objectif de physique initial. Cette stabilité n'est jamais acquise tout au long des différentes séquences de l'expérience. Des moments forts pour les ingénieurs succèdent à l'engouement des chercheurs en phase initiale, l'installation du détecteur laissant à nouveau l'investigation libre aux physiciens. La coordination des différentes professionnalités se doit donc d'être bien effective. Elle se réalise en fait autour de l'instrument, l'accélérateur et les détecteurs. L'instrument représente le moyen de la recherche qui fédère toutes les énergies et qui fait véritablement collaborer les différents acteurs et les différentes équipes.

Un des accélérateurs en fonctionnement actuellement au CERN est le LEP. Sur les quatre expériences décidées, deux concernent le CPPM de près : ALEPH et DELPHI. Les objectifs de recherche sont les mêmes mais les cheminements scientifiques et

technologiques pour produire des données sont différents. Ces différentes expériences ont comme support des détecteurs spécifiques qui utilisent des techniques et des procédés plus ou moins classiques, plus ou moins éprouvés, ce qui représente un gage de résultat.. La justification de la multiplication de ces investissements matériels et immatériels est qu'il est nécessaire de limiter les risques scientifiques en mixant les technologies. Dans le même temps la diversité des technologies utilisées permet précisément de les tester, notamment pour les plus neuves, ce qui permet par la suite de les intégrer dans d'autres projets.

Figure 5



La direction de l'équipe du CPPM engagée dans une collaboration est assumée par un chercheur. L'équipe se compose, d'une part, de chercheurs volontaires ayant des affinités scientifiques entre eux et sur le thème, d'autre part, d'ingénieurs choisis par le responsable sur la base de leurs compétences et de leur disponibilité au moment du développement du projet. Elle travaille en synergie relative avec les autres équipes, c'est-à-dire qu'aucun lien a priori n'est tissé entre les différentes équipes, chacune préservant

son autonomie dans le laboratoire. Il n'y a donc pas de groupes transversaux aux différentes équipes. Par contre toute une série de modalités de rencontre, plutôt informelles, permettent aux chercheurs de parfaire leurs connaissances auprès de leurs collègues. La composition des équipes se fait par cooptation et suivant la nécessité d'équilibrer les compétences (des physiciens analystes, des instrumentalistes, des ingénieurs dans les spécialités requises). Quelques places sont enfin toujours disponibles pour des doctorants à qui on propose des sujets assez bien définis.

– Les physiciens sont tous occupés par une expérimentation à plein temps, ce qui les rend peu disponibles pour d'autres recherches. Les échanges inter-expériences sont donc limités, ils se résument à la participation aux séminaires communs ainsi qu'à des communications informelles entre collègues.

– Les échanges entre ingénieurs sont par contre plus systématiques. Ceux-ci se réalisent sur des objets de connaissance (procédés de conception, de montage et de test) qui peuvent se rapprocher de connaissances codifiées. Le milieu "ingénieurs et techniciens" se présente peut-être comme plus dense que celui des chercheurs.

Le responsable d'expérience doit savoir animer une équipe pour satisfaire des contraintes de délai et de bonne collaboration avec les autres équipes. Le partage des tâches entre analystes et expérimentateurs fait par exemple qu'un différentiel d'investissement intellectuel ne doit pas poser de problème. Un analyste peut en effet arriver en fin d'expérience pour modéliser ce qui l'intéresse à partir de données acquises par ses collègues. Toutefois la participation à la conception du détecteur donne un avantage aux chercheurs en terme de primeur des données mais également de connaissance des conditions de production de ces données.

L'équipe constituée doit savoir accueillir de nouveaux entrants –très souvent des thésards– auxquels on propose un groupe précis d'opérations. Cette attribution n'empêche toutefois pas le chercheur de développer sa problématique de recherche –"sa physique"– au rythme qui lui convient.

La mobilisation des ingénieurs et techniciens est toutefois un peu différente. Même si les frontières entre ingénieurs et physiciens expérimentateurs sont très fines, il n'en va pas de même de l'affectation des premiers et de l'insertion des seconds. Un ingénieur peut être déplacé d'une expérimentation sur une autre au gré des besoins. La

gestion du temps technologique n'est pas celle du temps scientifique. La collaboration est l'affaire de tous, mais elle se gouverne à la manière d'un réseau centré. Le centre regroupe tous les chefs d'équipe du projet (un par laboratoire), chacun se trouve dans l'obligation de faire passer dans son équipe les décisions qui s'y prennent. Deux hiérarchies apparaissent alors clairement :

– une relation d'autorité scientifique entre les chefs de groupe, certains sont plus dominants que d'autres en raison de leur expérience auprès des comités et des équipements ;

– une relation d'autorité à l'intérieur de chaque groupe (à l'intérieur d'un laboratoire) entre les physiciens.

Il est bien compris qu'un chercheur qui travaille dans un groupe animé par un responsable à la tête d'une collaboration possède plus de chance de développer sa physique qu'un collègue membre d'un groupe en retrait dans la collaboration. A ce niveau il faut également tenir compte des compatibilités scientifiques à l'intérieur d'un groupe. Au moment des décisions d'équipement et d'orientation scientifique, chaque chercheur n'intervient pas forcément de manière directe. Son avis est médiatisé par son chef de groupe qui peut avoir tendance à privilégier sa physique au détriment d'une autre. Il existe ainsi des sources d'asymétrie informationnelle à deux niveaux. Tout chercheur est alors en droit d'estimer que sa participation scientifique passe par des modalités de frayage organisationnel, c'est-à-dire des agencements préférentiels avec ses collègues et surtout son chef de groupe d'expérience.

Le retour des expériences sur le CPPM s'effectue de plusieurs manières : par la continuité des équipes et par leur réputation.

– Une expérience engageant un groupe sur plusieurs années, il se forme ainsi des spécificités qui ne doivent cependant pas devenir des spécialisations trop marquées. Tout laboratoire éprouve de la sorte la nécessité d'avoir plusieurs équipes insérées dans plusieurs projets afin de dégager une diversité de buts et de compétences.

Ce choix permet également d'occuper tout le monde en repoussant la concurrence scientifique hors des frontières du laboratoire.

– Les succès scientifiques réalisés sur les groupes d'expérience représentent aussi des gages d'expertise technologique qui définissent en fait une assise scientifique et technique qui permet les insertions futures. Cet atout est primordial lorsque l'on connaît les contraintes de soumission des projets. Alors que le savoir scientifique commun ne manque pas, la faisabilité des techniques peut poser des problèmes pour la définition des projets d'expérimentation. Non pas que la physique soit à la merci de l'outil, ce qui serait une grossière caricature, mais que le physicien a intimement besoin de savoir jusqu'où il peut réaliser ses ambitions.

3.1.2. Les collaborations

Les expérimentations coûtant très cher (des milliards de francs suisses), il est devenu nécessaire de réunir au moins deux conditions pour faire fonctionner correctement une collaboration :

– Il faut fédérer un grand nombre de chercheurs et de pays pour obtenir une visibilité et une assise internationale qui garantisse la valeur de l'entreprise, ainsi que la valeur des résultats ;

– D'autre part, il est impératif de procéder à une claire définition des buts de l'expérience, ceci dans la continuité des connaissances contemporaines. Lorsque le pari scientifique est plus risqué, cette définition doit faire apparaître les chances de succès.

L'administration de la collaboration est déterminante pour la dynamique scientifique. Cette administration est très hiérarchisée. Plusieurs raisons militent pour ce dispositif : les dimensions humaines, financières et physiques de l'expérimentation, mais aussi la dispersion géographique des laboratoires insérés dans le projet, qui malgré la mobilité des chercheurs, demeurent attachés à leurs services techniques.

Une distance de plus en plus grande entre la base et le sommet de la collaboration s'est ainsi créée au fil des années. Le sommet traite avec un grand nombre d'institutions parmi lesquelles le Conseil des grands équipements scientifiques (GANIL, Laboratoire National Saturne, équipements du CERN), le Comité Européen d'Orientation pour la Physique des Particules, les Comités d'accélérateur. Une fois constituée, la collaboration soumet son projet de recherche à la commission de sélection ; une présentation ouverte des différents projets a lieu. Ces projets font l'objet de rapports en huis clos, la

commission donne ensuite son avis. La dernière étape consiste à valider techniquement les dossiers (avis de la commission de l'accélérateur). Le choix établi en dernier ressort permet dans la plupart des cas de ne pas exclure tous les projets sérieux : les équipes non retenues sont conviées à s'associer aux collaborations sélectionnées.

Lorsque ce choix est fait, la collaboration se dote d'un cahier des charges qui spécifie la mission de chaque équipe.

La construction des détecteurs occupe une place déterminante dans la collaboration. Chaque détecteur est une production partagée entre plusieurs laboratoires en fonction de leurs compétences et de leurs aspirations. Son ordonnancement est en principe piloté par un seul laboratoire qui répartit les responsabilités et fixe le calendrier. Cette construction est de plus en plus routinisée afin de respecter les budgets et de tenir chacune des équipes dans la course aux résultats. A la manière d'une industrie qui distribue ses activités sur plusieurs sites géographiques pour bénéficier des spécialisations locales, la collaboration fixe les compétences de ses composantes en leur attribuant des programmes d'activité quasi-industriels. Les équipes des différents laboratoires sont aussi bien connues pour leurs chercheurs que reconnues par leurs compétences technologiques. Le projet scientifique se double ainsi d'une programmation de type industriel où la maîtrise des délais et des coûts est incontournable. Pourtant, cette organisation industrielle de la recherche n'est pas tout à fait complète. S'il existe une organisation de ce type, l'objet, lui, n'est pas industriel : c'est un objet de connaissance qui n'est pas susceptible de production en série. Un second objet -la technologie mise au point et utilisée par la collaboration- pourrait par contre se prêter à ce type de traduction. Mais en examinant les externalités (6^o partie), on ne peut pour l'instant être très affirmatif.

L'organisation industrielle de la collaboration présente tout de même des traits intéressants. Même si chaque détecteur est une nouveauté, on peut observer un certain apprentissage dans la conduite des projets

– les déplacements auprès de l'accélérateur forment des modes d'utilisation économe de l'équipement,

– les collaborations favorisent l'échange de pratiques de coordination entre physiciens et ingénieurs, il se dégage ainsi des routines de coordination utilisables à chaque occasion.

Pour l'IN2P3 chaque détecteur est d'ailleurs un équipement universel. Depuis le début des années 80, la moitié des ressources de l'Institut en Physique des Particules a été consacrée à la construction de quatre détecteurs (3 au LEP, 1 pour HERA).

3.1.3. Place et rôle de l'accélérateur : l'exemple du CERN.

Le CERN est un espace d'accueil pour les expérimentations. Les visiteurs américains au CERN étaient au nombre de 50 en 1976, 120 en 1982, 250 en 1986, près de 380 en 1990. Ses prestations concernent l'énergie, les faisceaux, les équipes techniques d'installation et de maintenance.

La gestion du CERN doit être comprise comme ressource déterminante de la politique scientifique européenne. Plusieurs composantes animent les projets.

– **Le groupe permanent de physiciens** dispose d'une autonomie financière et peut librement s'associer aux projets extérieurs. Ce groupe est constitué de scientifiques de premier plan qui ont acquis droit de résidence selon une volonté contraire aux fondements initiaux du CERN. Sa moyenne d'âge est élevée. En étant dans les manipulations à plein temps il bénéficie d'avantages indéniables :

– Les physiciens peuvent prendre le temps de connaître tous les collaborateurs et les différents procédés utilisés ;

– Ils peuvent perfectionner leur recherche de manière continue.

Toutes les réunions se tenant au CERN, le privilège de la résidence est indéniable. Mais ce privilège doit être envisagé de manière plus systématique. Les physiciens permanents sont au centre du réseau qui gouverne la collaboration, ils sont en position hiérarchique favorable pour décider des expériences intéressantes, influencer sur le choix des équipements et finalement statuer sur les résultats de physique qui semblent les seuls pertinents. Cette situation n'est pas très surprenante lorsque l'on connaît l'attrait qu'exerce le CERN sur les physiciens. Une recherche efficace nécessite du temps pour perfectionner l'outil de mesure (le détecteur), ce temps se trouve idéalement au plus près de l'accélérateur. Mais seuls quelques chercheurs confirmés peuvent bénéficier de cette position de manière durable, c'est-à-dire pour des séjours de plus d'un an. Lorsque cette

position est sûrement acquise, elle permet implicitement de passer commande à des équipes européennes qui de fait n'auront pas accès de la même manière au processus de recherche.

- Le Comité européen sur les futurs accélérateurs (ECFA) a en charge la définition de la puissance de l'accélérateur et tout un ensemble de caractéristiques qui déterminent en somme la vocation scientifique de l'équipement. Le processus de décision se présente à ce niveau de manière assez complexe puisqu'il recoupe des institutions nationales et internationales de grande taille, de plus il est fréquent de retrouver tout un groupe de scientifiques dans plusieurs institutions à la même époque. Sans faire référence à une notion de monopole scientifique, il faut noter une certaine cohérence des décisions établies de manière simultanée au niveau des orientations scientifiques à long terme, et au niveau de la disponibilité des grands équipements, notamment du CERN (LEP 200, LHC dans les années prochaines).

La dynamique du CERN doit de la sorte être comprise dans toute sa spécificité. Le mandarinat a progressivement laissé place au lobbying. Celui-ci émane de groupements scientifiques qui rassemblent les préoccupations scientifiques et technologiques des chefs de groupe soutenus par leurs structures respectives (laboratoires, instituts nationaux). Pour le cas français, on sait que l'IN2P3 se montre toujours très favorable aux multiples collaborations. Au-delà de la collaboration scientifique, c'est un véritable consensus durable qui est donc recherché entre des regroupements de chercheurs.

Cette pratique organisationnelle est particulièrement sollicitée par les fréquents séjours des chercheurs et ingénieurs au CERN. Le suivi scientifique des collaborations nécessite en moyenne une semaine par mois pour les physiciens, le suivi technique quelques jours par mois pour les ingénieurs.

Pour conclure sur ce point on peut se demander quelles sont les conditions et les lieux des décisions de la collaboration. Comment sont évalués les projets et les résultats scientifiques ? Qu'en est-il de l'évaluation des chercheurs dans ces vastes collaborations ?

3.2. La constitution d'un espace scientifique

Si la collaboration est aussi prégnante dans la structuration de la recherche c'est qu'en fait elle concilie plusieurs volontés.

– Lorsque la physique des particules est entrée dans sa phase d'industrialisation, il allait de soi que la gestion des capacités physiques et humaines serait centralisée. Dans le cadre d'une concurrence scientifique mondiale, il n'était pas pensable de déconcentrer les crédits de programme avec le risque de dupliquer les expériences et donc de céder du terrain sur le front des différents chantiers de recherche.

– Cette logique d'investissement s'est très vite retrouvée au niveau des différentes politiques nationales. La volonté de l'IN2P3 d'affirmer une cohérence d'ensemble plutôt que de laisser chacun de ses laboratoires établir la sienne a grandement facilité l'émergence des réseaux centrés de recherche. Il ne faut en effet jamais oublier que l'affectation des crédits de recherche se propose et se décide au seul niveau de l'IN2P3 à partir des réunions mensuelles des directeurs de laboratoire.

La traduction des volontés internationales s'est ainsi faite, en tous cas au niveau français, en privilégiant la forme d'organisation "projet" plutôt que "laboratoire de recherche". Le laboratoire construit sa légitimité a posteriori en mettant en avant la diversité de ses expériences, donc de ses collaborations. Le noyau de cette diversité n'est pas de création spontanée, il émane plutôt des services techniques qui représentent la seule base d'expérience commune aux membres du laboratoire.

Cette rationalité a certainement permis les réalisations que l'on connaît et celles qui vont se révéler très prochainement. Mais dans le même temps d'autres réalisations ont été écartées non pas de manière délibérée mais du fait même du dispositif de définition des projets. Une telle structuration de l'investigation scientifique incite donc à poser des questions relatives à la transmission des savoirs et à la validation des connaissances.

On sait que le choix du chercheur est contraint par le caractère collectif de la recherche. On sait également que ce choix s'inscrit dans des procédures d'affectation et de direction scientifique qui sont doublement hiérarchisées (dans l'équipe du laboratoire et dans la collaboration). Ces procédures prennent tout leur sens dans le processus de production de la collaboration. Nul chercheur ne peut obtenir une position forte dans son

laboratoire s'il ne l'a pas acquise dans une collaboration. De manière symétrique, la collaboration ne peut susciter d'investissements intellectuels qu'à partir et qu'à l'intérieur de sa propre ligne de recherche. La production de la collaboration représente une spécificité nécessaire qui en fait ce que l'on appelle un espace.

Dans cet espace on peut s'interroger sur la pertinence de la forme "laboratoire". Celle-ci réunit des équipes de recherche ayant des thèmes et des expériences très divers. Vu la jeunesse du laboratoire et la durée des projets, il est difficile d'observer les mobilités thématiques des chercheurs. Les transmissions de savoirs semblent se faire essentiellement par des procédures institutionnelles (séminaires, ...). La fonction du laboratoire réside alors, non dans des définitions de ligne de recherche, pour des équipes ou pour des chercheurs, mais dans les possibilités de soutien intellectuel et matériel à ces mêmes chercheurs. Ceci ne signifie pas que le laboratoire soit exclu du processus de décision des axes de recherche, il participe dans sa relation avec la direction de l'IN2P3, avec les comités d'expériences du CERN à son élaboration mais ne fait que saisir les différentes opportunités qui lui sont proposées. Il revient donc à l'organisation du laboratoire de construire, avec l'ensemble de ces choix contraints, un projet d'ensemble ayant une cohérence scientifique.

La collaboration, au sein du CERN, fixe, en effet, un objet principal de recherche qui produira des résultats exploitables par un grand nombre de physiciens mais néanmoins selon un éventail déterminé de possibilités. La collaboration fixe également ses moyens de recherche (le détecteur) et, non des moindres, la qualité de ses partenaires. Contrairement aux sciences humaines, la recherche ne peut se concevoir de manière isolée : tous les chercheurs engagés sur un même objet doivent se connaître et se mobiliser ensemble pour prétendre à la reconnaissance scientifique. Bien que la collaboration puisse à certains moments s'élargir, elle représente surtout un espace scientifique "fermé" ("Fermeture/ouverture d'un espace", Lanciano et alii 1993)¹ qui produit des résultats à partir de sa propre définition de la communauté pertinente. La légitimité de la collaboration et la légitimité des résultats ne font qu'un : les physiciens qui s'engagent sur tel projet d'expérimentation savent qu'ils y sont les seuls. Il se crée de fait un milieu scientifique durant 5 à 10 ans qui sera plus difficile d'accès pour les chercheurs qui n'ont pas décidé de s'y investir complètement. Ce milieu n'est pas inaccessible mais "le prix"

¹ Lanciano Caroline, Maurice Marc, Silvestre Jean-Jacques, Nohara Hiroatsu (1993), L'analyse sociétale de l'innovation : genèse et développement, Document LEST, 93/2.

pour y entrer est suffisamment lourd pour qu'une nouvelle équipe hésite à demander son intégration en cours de projet.

Les différents chercheurs interrogés ont mis en évidence l'importance du choix de la configuration de l'accélérateur dans le type de physique développé au cours des années à venir. De la même façon l'adoption d'un certain type de détecteur induit une certaine thématique. La prégnance de l'instrumentation crée donc des irréversibilités, tant matérielles (coût de l'instrument), que professionnelles à long terme en raison du haut niveau de spécialisation nécessaire pour intervenir dans ce type d'investigation. L'espace scientifique se structure ainsi en devenant outil de sélection des projets. On peut alors envisager un bouclage de l'expérimentation à la théorie : l'outil de sélection puisant dans le potentiel d'investigation fourni par le modèle standard.

IV – Le système national d'évaluation

Les procédures de publication et d'évaluation des chercheurs sont caractéristiques de cet espace. Les pratiques observées diffèrent de celles des autres départements scientifiques, en raison, en particulier, du type d'organisation du processus de recherche.

Le processus de production des connaissances et par conséquent, le travail de recherche des chercheurs et des ingénieurs du CPPM, s'effectuent au sein du laboratoire mais aussi autour du CERN ou à Hambourg. Les tâches effectuées sont, de plus, soient individuelles soient collectives. Ainsi, la simulation des résultats en amont, comme l'analyse en aval relèvent d'un groupe d'expérience à l'intérieur duquel chaque projet individuel de chercheur a sa place; cette activité s'effectue le plus souvent au laboratoire. Par contre, l'instrumentation faite à Marseille comme l'installation et la mise au point du détecteur, la production des résultats sur l'accélérateur sont liés à des objectifs collectifs et sont en quelque sorte d'intérêt général. Ce processus de recherche complexe rend difficile la perception à l'intérieur d'un projet de ce qui peut être attribué à un chercheur, ou à un autre, ainsi que la différenciation de l'autorité apte à juger de la valeur des résultats comme des individus.

Traditionnellement les **publications** sont utilisées comme un des principaux supports de l'évaluation des recherches et des individus. Or, en physique des particules, les publications ne peuvent se faire que lorsque l'on peut comparer les résultats obtenus avec les résultats escomptés (E n° 11 et 25), c'est-à-dire qu'il se passe souvent une

longue période avant la publication d'un article définitif. Cette temporalité atténue le rôle des publications comme critère de contrôle de l'activité d'un chercheur et donc leur influence dans sa carrière.

De plus, pendant cette longue période, de nombreux chercheurs et ingénieurs ont été impliqués dans l'expérience, il est donc convenu que l'ensemble des chercheurs appartenant à la collaboration, jusqu'à 400 personnes, signent les publications. *"Toute personne travaillant sur l'expérience est responsable de quelque chose, ceux qui l'ont construit, ceux qui font les shifts, ceux qui la font marcher, ou ceux qui réfléchissent autour ou ceux qui organisent le groupe complet, c'est beaucoup plus sain pour avoir un groupe homogène, sinon il serait difficile de désigner ceux qui signent et ceux qui ne signent pas."* (E n°25) Cette convention exclut toutefois les ingénieurs tandis que les instrumentalistes ne signent que des articles liés à leur spécialité.

Lorsque des données sont disponibles, les différentes équipes comme les individus proposent à la collaboration des analyses qui peuvent porter sur des objets différents mais aussi qui peuvent être contradictoires. Pendant cette phase, diverses notes individuelles et internes au groupe circulent, différentes propositions sont énoncées dans les "meeting". Il existe plusieurs niveaux de meeting qui correspondent aux différents niveaux de reconnaissance scientifique. Et à partir de ces différentes productions, des discussions/négociations scientifiques ont alors lieu aux différents niveaux de la collaboration jusqu'au moment où, le collectif arrive à un consensus sur le texte qui est alors signé par l'ensemble. Les différentes légitimités et les hiérarchies des équipes, des institutions et des pays coexistant au sein de la collaboration jouent chacune leur propre stratégie. Les responsables des groupes d'expérience par laboratoire, par exemple, doivent faire en sorte qu'une idée émise par un chercheur de l'équipe soit prise en compte par le lobbying et reconnue comme un apport individuel, mais que *"dans le même temps elle perde de son identité pour devenir l'idée de tous"* (E n° 5). La compétition entre les différentes équipes semble alors vive et même au sein de la collaboration *"tout le monde signe mais il y a celui qui a sorti la première mesure..."* (E n° 20). Cet aboutissement ne signifie pas que l'accord sur le contenu de la publication soit total, ni que la collaboration soit un "huis clos". Les débats et les controverses qui ont lieu lors des réunions de l'ensemble des groupes d'expérience diffusent et profitent à l'ensemble de la communauté. L'accord pour publier de l'ensemble de la collaboration présente néanmoins un risque qui peut être important. En effet, l'originalité des résultats mais surtout la

notoriété d'une équipe peut entraîner la collaboration à sortir des résultats dès le départ controversés et qui pourront par la suite être remis en cause (E n° 4).

Se pose alors naturellement la question de savoir si cette règle de consensus formel vis-à-vis de l'extérieur que pratique la collaboration ne favorise pas une science dite "normale". Il est évident que s'est constituée au sein de cette organisation de type "industrielle", une hiérarchie très établie entre les différents acteurs de la collaboration. Chacun souhaite que la *"pyramide ne soit pas trop élevée"* (E n° 5), il semble cependant difficile de contourner cet ordre pour administrer la preuve *"de sa qualité, de son poids scientifique tout en ayant une bonne capacité d'expression"* (E n° 5). Mais ce contrôle exercé par le collectif sur le travail de chacun s'il conduit à une certaine standardisation du produit de la recherche, est justifié par la plupart des chercheurs interrogés, par l'ampleur des ressources engagées dans l'expérience et par la volonté de maintenir l'homogénéité du groupe pour poursuivre collectivement l'exploitation des futurs résultats, ce qui rend tous les acteurs de ce processus solidaires autour du produit de la collaboration. Ce fonctionnement provoque des tensions à l'intérieur d'un système relativement fermé sur lui-même et des volontés de retourner à un travail de recherche plus individuel et quantifiable. (E n° 11). Toutefois, il faut noter le rôle de soutien, de référent et parfois de protecteur des jeunes chercheurs joué à l'intérieur de la collaboration par le responsable de l'expérience au laboratoire. L'importance de cette mission à l'intérieur des attributions de ce responsable est soulignée à la fois par ceux qui ont été interviewés et par les chercheurs eux-mêmes.

En l'absence d'une possibilité de se référer systématiquement aux publications comme à un critère objectif de mesure de l'activité d'un chercheur, les instances d'évaluation multiplient les informations subjectives autour du chercheur. La hiérarchie intermédiaire du CERN, responsable d'une partie du détecteur ou d'un thème, constitue une source évidente de renseignements comme le responsable de l'équipe au sein du laboratoire ou le directeur du laboratoire lui-même. L'ensemble des tractations conduisant à produire une réputation scientifique, un jugement sur le chercheur, se fait de façon informelle, *"de bouche à oreille"* (E n° 5), par *"le téléphone arabe"* (E n° 25), sans que "la parole" dite puisse être identifiée. Cette non transparence des procédures d'évaluation constitue un *"risque de subjectivité"* (E n° 4), et renforce le poids des hiérarchies naturelles. Il donne de l'importance aux différentes interventions que le chercheur peut faire oralement dans ou hors de la collaboration (les conférences etc...) et valorise donc

les prises de paroles de celui-ci et ses capacités "de synthèse, une bonne culture et un bon anglais" (E n° 5).

Ce processus de cooptation par les pairs n'est pas si différent de celui des autres disciplines du CNRS. Pourtant le poids de l'évaluation faite par la collaboration et donc par la communauté internationale est plus déterminant en Physique des Particules qu'ailleurs : "Les chercheurs sont évalués à travers la lunette du CERN" (E n° 25). L'évaluation faite sur un individu par le Comité National est particulièrement "liée" et dépendante des jugements émis par les instances du CERN. De la même façon, l'IN2P3 (direction et instances d'évaluation) est lourdement influencé par les décisions du CERN, en particulier dans le report ou l'arrêt d'une expérience mais aussi dans ses évaluations. L'IN2P3, même si elle est partie prenante de l'autorité du CERN, semble avoir une autonomie limitée par rapport aux institutions scientifiques internationales. A l'intérieur de cette organisation procédurée et hiérarchisée, les directions des organismes de recherche semblent avoir les mêmes types de difficultés à évaluer les compétences des individus que les entreprises industrielles (Yoccoz).

V - Les externalités

Comme tout établissement de production des connaissances à grande échelle, le CPPM produit des effets sur son environnement immédiat. Comme établissement public de recherche acteur de collaborations internationales, le CPPM doit également être à l'origine de développements technologiques et industriels qui, s'ils ne peuvent être comparés aux avancées scientifiques, marquent leur époque. L'étude de ces effets et développements n'est pourtant pas directe. L'explication la plus évidente tient à la nature même de la recherche en physique, qui use de temporalités longues et qui, surtout, n'a pas de justification économique à se donner. Une explication moins directe et plus problématique mérite également d'être mentionnée. Elle concerne la nature de l'imbrication entre une recherche scientifique longue et la mise au point de technologies innovantes sur la base d'une organisation de type industriel.

Le CPPM n'a de fait pas de politique de valorisation, ne souhaite pas en avoir prochainement, mais génère des externalités. La mobilisation de sous-traitants dans la région peut en effet s'apparenter à un processus de qualification de ces entreprises. Cette situation peut à la fois se justifier comme se discuter. Étant impliqué par ses équipes dans des collaborations, il est normal que le CPPM ne puisse pas participer à l'externalisation

de ses technologies. Cette mission appartiendrait plutôt au CERN (cf. "La prochaine étape", publication CERN) ou à DESY. Mais d'un autre point de vue, on sait que les services techniques capitalisent, sur la base de Luminy, des savoirs qui, bien que spécifiques aux expériences, demeurent une production locale. On pourrait alors s'attendre à une certaine autonomisation de la technologie des expériences, par exemple dans le cadre de programmes régionaux de diffusion de la technologie. Mais il n'en est rien.

5.1. Le potentiel technologique du CPPM

Des trois services techniques, seul le service électronique participe à une certaine valorisation de ses technologies. L'utilisation du service informatique lors d'opérations spéciales (visioconférences, protocoles de répartition de l'information au CPPM à partir du serveur CERN) représente dans le domaine un usage très courant.

La direction technique ne poursuit pas d'actions de prospection, malgré un potentiel important. Les contrats passés avec l'industrie régionale sont des contrats de sous-traitance et d'expertise, on ne peut pas vraiment les qualifier de valorisation, ce sont des externalités positives.

Pour la mécanique

Le service a procédé à l'acquisition d'une machine à mesurer tridimensionnelle, avec et sans contact, qui permet de faire de la métrologie, ce qui est assez rare dans la région (Arts et métiers, LASS, Eurocopter). Cette machine a permis de faire une étude de prothèse de genou pour un sous-traitant non équipé.

Les moyens détenus dans le service permettent en fait d'élaborer les prototypes, de faire la métrologie, d'établir le cahier des charges et de procéder à l'alignement. La fabrication de composites est confiée à un sous-traitant qui a un lien avec le CERN et qui travaille pour l'Aérospatiale.

Pour l'électronique

Les possibilités de valorisation et les réalisations sont plus nombreuses. Deux actions principales doivent retenir l'attention: D - MILL et JESSICA.

– D - MILL (Durci mixte logico-linéaire).

Le CPPM a eu besoin d'une technologie durcie, c'est-à-dire résistant aux radiations, pour des circuits électroniques équipant certains détecteurs. Cette technologie n'existait pas. Des recherches industrielles l'ont conduit à monter un consortium avec le LETI (laboratoire du CEA) ; la Division des Applications Militaires de l'Armée, le DSM, le CEA, Thomson-TCS et l'IN2P3 (Partenaires tous engagés dans la filière des hautes énergies). Le but était de valider la technologie avant et après radiation pour des transistors et des ensembles complets, donc in fine pour des circuits intégrés. Il se trouve que Thomson disposait d'un standard analogue mais pour les applications numériques (HSOI3HD: haut silicium durcissement). D'où des possibilités de recoupement et de conflit entre les deux entités. La solution a consisté à faire lancer un appel d'offres par le consortium : c'est MHS (Matra et Daimler Benz) qui l'a emporté. Le chef de projet a donc changé et du coup le CPPM est devenu un client de MHS. Cependant il a bénéficié de la gratuité des frais de recherche/ développement pour les matrices Pixel (à ce niveau nous ne savons pas ce que l'IN2P3 retire comme ressources des opérations.)

Un saut technologique pourra être ainsi réalisé en passant de 1 à 10 megarads. Toutefois une technologie durcie pour tous les détecteurs (théoriquement 25 mégarads pour les pixels pour les 20 ans à venir) n'est pas facile à réaliser en raison des différences de configuration de l'ensemble des détecteurs.

Les compétences rassemblées sur ce projet sont d'origine Mécanique du Solide, composants micro-électronique et radiation. La technologie s'appliquera aux détecteurs Pixel sur ATLAS. Des applications militaires sont prévues. Ce type de composant devrait émerger dans le domaine public d'ici 3 ans.

– Contrats de valorisation JESSICA

A partir du programme européen JESSI, les DRIRE favorisent la diffusion de technologies ASIC'S en direction des PME régionales (circuits intégrés).

Le CPPM est devenu conseiller technique dans ce réseau : visites d'entreprise, pré-études de 5 à 10 jours, réalisations. Seules les études dépassant 10 jours sont rémunérées. Depuis 3 ans, 2 visites, 5 contrats d'étude et seulement une réalisation de

circuit intégré ont été conclus. A cette dernière occasion un technicien a été mobilisé à temps plein sur l'opération. Ce qui est peu. Ce type de timide valorisation est issu des recherches sur les pixels qui donnent un avantage indéniable en matière de circuit intégré sur la recherche privée.

5.2. Les externalités positives

Il faut distinguer externalités véhiculées par les technologies et externalités transmises par les hommes ; ainsi les deux tiers du millier de jeunes chercheurs qui passent par le CERN terminent dans l'industrie : chimie, pharmacie, télécommunications, informatique et réseaux (le tiers des emplois occupés), système de contrôle de la circulation, médecine, instrumentation physique, électronique, mais aussi commerce et assurances.

Dans le cas du CPPM, cette mobilité des jeunes chercheurs et ingénieurs (docteurs en Physique, ingénieurs de différentes spécialités) se vérifie également. Par contre, la mobilité des personnels à un stade ultérieur de la carrière est beaucoup plus faible, même s'il existe des cas de transfert de chercheur (après la thèse –soutenance entre 1987 et 1994– 3 anciens doctorants sur 21 ont trouvé un emploi dans les entreprises) ou d'ingénieur de la recherche scientifique à l'industrie (il existe un cas d'ingénieur qui a créé son entreprise en utilisant les services de l'Anvar).

Les externalités technologiques existent mais ne sont pas vraiment le fait de projets délibérés de valorisation. Il n'existe pas de veille technologique de l'industrie qui pourrait permettre des applications des technologies développées à l'occasion de la construction des détecteurs. Il n'existe pas non plus de veille commerciale pouvant servir de première traduction des besoins industriels. Toutefois une veille technologique sur rayonnements médicaux au moyen des pixels a été mise en place.

Les technologies sont beaucoup trop spécifiques pour être valorisées telles quelles. La question du marché est centrale, mais elle n'est pas étudiée. Les technologies du CPPM pourraient être revues et redéveloppées pour des acquéreurs potentiels. Ce qui supposerait plusieurs relais : relais technologique et relais de prospective commerciale. Les technologies utilisées dans le cadre du projet de Télévision Haute Définition sont proches de celles développées dans la collaboration Atlas. L'absence de moyens

institutionnels aux différents moments des projets (conception, panorama technologique, tours de table financiers) ne permet pas de faire dialoguer les éventuels partenaires.

A ces absences s'ajoutent des difficultés organisationnelles, d'ordre comptables par exemple.

Le CPPM pratique la tarification conventionnelle CNRS. Le valorisateur du CNRS (le CMI) n'est pas utilisé. Enfin, c'est l'IN2P3 qui enregistre les commandes, signe les contrats et encaisse. Il reverse 95 % du montant au laboratoire. Les contrats peuvent se prêter à l'embauche de CDD.

Pour l'instant les sociétés intermédiaires privées entre la recherche publique et les entreprises ne sont pas acceptées par l'IN2P3. L'expérience a pourtant été tentée, un montage institutionnel et financier avait été conclu avec un partenaire privé, mais l'affaire n'a pu se concrétiser faute d'accord avec la direction de l'Institut.

La valorisation doit en fait être envisagée au niveau de l'administration centrale des projets d'expérimentation. Au niveau du CERN, la valorisation a un sens, il reste cependant à identifier ses séquences et ses bénéficiaires.

La conception et le fonctionnement des accélérateurs a permis en effet, de développer des technologies qui sont aujourd'hui réparties dans le domaine public: supraconductivité, cryogénie, sources d'ions, ultravide et sciences connexes, radio-fréquences et micro-ondes.

Les retombées industrielles régionales sont considérables (les contrats LEP passés avec l'industrie française sont substantiels). Les diverses taxes locales contribuent certainement au développement régional des deux côtés de la frontière.

Les retombées industrielles et technologiques existent mais ne sont pas programmées, d'ailleurs elles n'ont pas à l'être selon nos interlocuteurs.

L'association d'un objectif scientifique et d'une industrialisation de la recherche mérite à nouveau d'être mentionnée. L'organisation des collaborations fait plutôt penser au modèle industriel de type "projet", mais l'objectif de la recherche oriente les technologies sur une telle spécificité, que leur valorisation nécessiterait plusieurs

traductions successives. Non seulement les technologies utilisées devraient être transformées pour devenir accessibles, mais de plus il faudrait également faire émerger les besoins de ces technologies. La temporalité des deux opérations a plutôt tendance à rebuter pour l'instant les directions scientifiques internationales et nationales, ainsi que les éventuels candidats publics ou privés à la valorisation. La continuité qui existe dans la temporalité des expérimentations ne se retrouve donc pas dans les externalités. Si l'on sait se donner les technologies pour obtenir des résultats scientifiques, on n'a pas encore su, ou voulu, se donner les moyens économiques et sociaux pour valoriser les avancées technologiques. Remarquons également que les valorisations effectives sont en majeure partie issues des préoccupations et des démarches d'ingénieurs.

D'après Hans Hoffmann, président du comité de valorisation de la physique des hautes énergies au CERN : *“dans la science appliquée et l'industrie, on peut s'attendre à une moyenne de 0,1 brevet par scientifique ou ingénieur et par an. En physique des hautes énergies ce nombre n'est pas très élevé. La principale raison n'est pas tant l'absence d'intérêt technologique potentiel que la tradition d'une libre collaboration, avec une publication des résultats dans des revues à très large diffusion. Une autre raison tient au fait que l'application directe d'une idée scientifique n'apparaît pas à l'évidence, même pour les chercheurs les plus clairvoyants. En règle générale, on n'est guère incité à se lancer dans une opération laborieuse et coûteuse de dépôt de brevet, et il n'y a pas de crédits pour cela”*¹

L'usage des résultats scientifiques et des technologies est bien effectif. Mais on pourrait tout aussi bien doter chacun des projets de cellules de prospective poursuivant une mission systématique d'exploitation des potentiels. Le retour scientifique et technologique ne pourrait que renforcer la légitimité de la recherche.

5.3. La sous-traitance

Lorsque le CPPM élabore des prototypes, il ne réalise jamais la production en série. Ce sont la taille des séries de fabrication et la spécificité des technologies nécessaires qui font externaliser les activités. Par exemple pour les détecteurs d'Aleph et de DELPHI, on a fait appel à un sous-traitant maîtrisant les matières composites. Il en est de même pour l'électronique, seule la conception est réalisée par le service; la fabrication

¹ Hans Hoffmann Les retombées de la physique des hautes énergies. Courrier du CERN. Avril 1994.

des circuits imprimés et intégrés est sous-traitée. Le contrat de sous-traitance est géré au moyen d'un cahier des charges et directement par l'ingénieur ou le technicien responsable du service au sein du groupe d'expérimentation.

Pour les sous-traitants la collaboration avec le CPPM présente des avantages indéniables.

– Les contraintes de délai et de coût sont beaucoup plus favorables que dans un contrat industriel. Même si le donneur d'ordre CPPM peut se montrer exigeant sur la qualité des travaux, et surtout progressif en matière de besoins (le cahier des charges initial pouvant évoluer), les conditions de réalisation permettent aux sous-traitants d'intégrer facilement ce type de commande dans leur plan d'activités.

– Une collaboration avec le CPPM qualifie le prestataire à la fois dans une technologie, et dans un type de contrat industriel/scientifique. Cette qualification peut ouvrir des portes industrielles dans la région, et également des portes scientifiques à une toute autre échelle : avec le CERN par exemple.

A ce niveau il s'agit d'une valorisation et parfois d'une création de potentiel technologique chez des tiers. Le mérite des laboratoires de recherche doit donc être souligné. Avec une certaine volonté, on pourrait songer à se doter de procédures inverses de valorisation. Des montages institutionnels seraient donc à envisager afin d'identifier les possibilités d'usage généraliste des spécificités technologiques créées dans les différents espaces scientifiques de la physique.

5.4. Les relations créées avec le système éducatif

Les relations du CPPM avec le système éducatif sont, soit liées aux activités des enseignants/chercheurs, soit conduites de façon volontariste par la direction du laboratoire.

Traditionnellement, les enseignants/chercheurs, en assurant un service mixte, sont un des liens indispensables entre laboratoires et Université, entre les thèmes des enseignements et ceux de la recherche, les uns se nourrissant des autres. Les enseignants-chercheurs du CPPM et de l'Université de la Méditerranée semblent avoir des difficultés à tenir ce rôle. Il est, ainsi, frappant de constater l'absence d'interaction entre les thèmes

des cours effectués et la problématique des recherches. Cette divergence entre enseignement et recherche s'explique de façon entremêlée, par la "figure" particulière de ces enseignants en Physique des Particules et par les temporalités de la recherche dans cette discipline. Les avancées récentes de la physique des particules ne pouvant raisonnablement s'enseigner qu'à partir du troisième cycle.

Les enseignants travaillant au sein du CPPM ne remplissent leur fonction qu'en vertu du contrat qui les lie, selon eux, à une institution, l'Université. Lors des entretiens, ils ont décrit, pour la plupart, comment ils sont devenus enseignants faute d'avoir pu obtenir le statut de chercheur du CNRS. Cette trajectoire est vécue comme un "*pis-aller*" permettant de faire de la recherche et non comme découlant d'une évaluation négative. L'impossibilité d'entrer au CNRS ne remet pas en cause la compétence en recherche du jeune thésard puisque le laboratoire le soutient, elle n'est pas due à un profil professionnel particulier mais elle est le résultat de deux facteurs, la disponibilité en postes au moment de l'entrée sur le marché du travail des scientifiques au sortir la thèse, et la politique menée par la direction du laboratoire. Aussi, le véritable métier, l'activité principale de ces enseignants/chercheurs reste la recherche et les contraintes liées aux obligations d'enseignant sont minimisées au maximum : blocage des cours sur un trimestre, utilisation des remplacements, choix d'enseignements techniques (informatique, électronique...).

La recherche en physique des particules impose aux chercheurs de travailler hors laboratoire et loin des lieux d'enseignement et selon des temporalités difficilement conciliables avec un service régulier. Privilégier la recherche les conduit à négocier avec les autres enseignants leur emploi du travail, et donc à accepter de se voir attribuer des cours éloignés de leurs thématiques de recherche. La préparation de ces derniers devient, en raison de l'implication des enseignants dans des disciplines éloignées de leurs préoccupations et des contraintes du travail de recherche, le plus souvent, une activité "en supplément", hors du temps naturel de travail du chercheur. L'adjonction au métier de chercheur en physique des particules à temps plein de l'obligation de service d'un enseignant met l'enseignant/chercheur du CPPM en position délicate, à la fois par rapport à ses collègues chercheurs et par rapport aux autres enseignants. Certains s'en sortent en multipliant leur temps de travail, d'autres en se spécialisant à l'intérieur du projet de recherche, dans certaines phases où les contraintes collectives et temporelles sont moins fortes (la simulation et l'analyse). Mais il est évident que, d'une part, cette catégorie de personnel apparaît en situation défavorable dans le processus par rapport aux autres

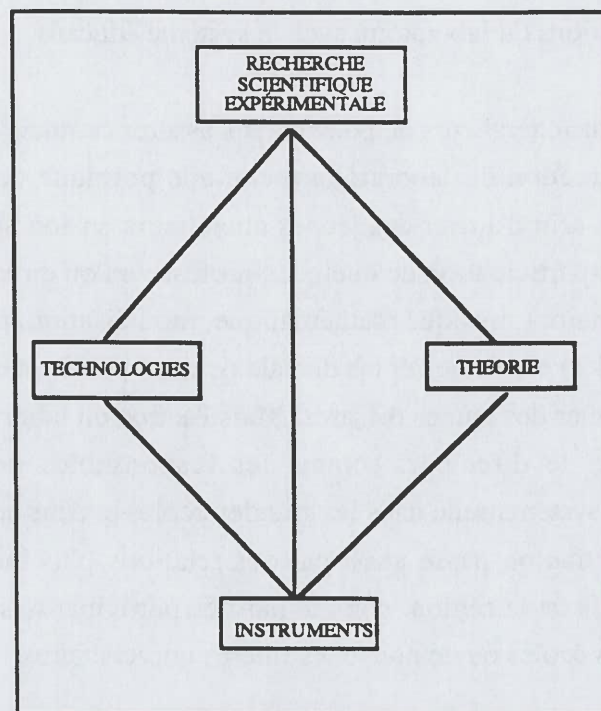
chercheurs et que, d'autre part, ils ne peuvent pas toujours suffisamment constituer un relais efficace des relations du laboratoire avec le système éducatif.

Les enseignants/chercheurs ne pouvant pas assurer ce relais dans le cadre des 1er et 2ème cycles, la direction du laboratoire mène une politique de valorisation de ces activités scientifiques afin d'attirer des jeunes chercheurs en son sein et de renouveler, ainsi, ses effectifs. La participation de quelques professeurs ou directeurs de recherche à un DEA pluridisciplinaire (physique mathématique, modélisation, physique théorique et physiques des particules) constitue l'épine dorsale de cette politique et permet directement au laboratoire de recruter des jeunes thésards. Mais l'action du laboratoire ne se cantonne pas aux 3ème cycle, le directeur, comme les responsables de groupes, font des conférences de façon systématique dans les grandes écoles et dans certains 2ème cycle de physique. Cette information passe aussi par des relations plus larges à l'intérieur des différentes Universités de la région, comme par des participations ou des soutiens aux créations de nouvelles écoles ou de nouvelles filières universitaires.

Les relations du CPPM avec le système éducatif ne semblent pas être à la mesure de sa qualité de laboratoire "mixte" IN2P3/Universités, ni des moyens affectés par cette dernière à l'unité. Ce qui pose le problème de la perennité de telles disciplines scientifiques qui ne sont que peu enseignées à l'université et, plus généralement, des liens enseignement-recherche.

CONCLUSION

La réalisation de la monographie a été l'occasion d'identifier les relations complexes qui se nouent entre les diverses composantes d'un centre de recherche scientifique et son institut de rattachement. Partie à la découverte de relations entre deux entités, l'étude a du se rendre à l'évidence d'une complexité d'un autre ordre. C'est qu'en fait la gestion du CPPM au sein de l'IN2P3 offre un bel exemple de systémique appliquée. La structure du CPPM permet de développer des actions qui ne sont pas la simple conséquence d'une segmentation nationale de la recherche. Chacune de ses actions participe d'un fonctionnement international, voire mondial, qui conjugue suivant différentes temporalités : une avancée scientifique, une construction de la théorie mathématique de la physique des particules, la mise au point de technologies très spécifiques et enfin la construction et la gestion d'équipements pour les expériences (accélérateurs).



La conjugaison de ces quatre pôles se prête en définitive à trois types de réflexion le positionnement complexe du CPPM au sein de l'IN2P3, la production des connaissances, l'évolution du CPPM.

1. Le CPPM au sein de l'IN2P3

Comme ses homologues, mais sans doute plus à l'image des laboratoires de physique des particules, le CPPM présente une grande faculté à s'insérer dans les projets qui marquent l'avancée de la recherche. Avant d'être un centre regroupant des lignes de recherche homogènes. Il se présente comme un centre de ressources insérées dans des espaces scientifiques pilotés dans des endroits précis, principalement au CERN. De ce point de vue, la forme laboratoire est plutôt un relais de l'espace scientifique et technologique. De ce point de vue également, on ne peut éviter de remarquer la dissymétrie justifiée entre l'investissement de recherche et l'effort d'enseignement dans le cadre de la gestion mixte du laboratoire.

La logique d'investigation se trouve d'autre part éclairée par les besoins de légitimité scientifique qu'éprouve la communauté pour établir ses programmes de

recherche et les faire valoir en termes de plans de financement. Il ne peut exister ainsi de communauté que soudée autour d'objectifs acceptés et défendus. Le laboratoire ne peut dans les faits qu'entériner les orientations affirmées dans les comités internationaux auxquels participent un petit nombre de chercheurs du laboratoire.

La gestion des carrières des personnels (chercheurs, ingénieurs, techniciens) se place dans ce cadre précis de choix de trajectoire scientifique et institutionnelle. S'insérer dans un programme de recherche suppose l'acceptation d'une spécialisation durable, plus forte pour les chercheurs que pour les ingénieurs, qui pourra être complétée par la suite.

Le CPPM offre de la sorte l'exemple d'un laboratoire en physique du futur, qui définit sa cohérence hors de ses murs, c'est-à-dire qui ne trouve sa continuité que par segments de projet parmi l'ensemble de ses ressources. Celui-ci présente une diversité d'activités qui offrent véritablement le choix au nouvel arrivant, mais sitôt engagé, le chercheur se coupe naturellement des autres trajectoires scientifiques. La continuité la plus forte se situe du côté technologique avec un ensemble de services techniques qui capitalisent effectivement sur place l'avancée des connaissances.

2. La production des connaissances

Le CPPM fonctionne autour et avec les accélérateurs du CERN, de DESY ainsi que les comités associés. L'axe CPPM-CERN fait apparaître certaines discontinuités, inhérentes à la division du travail, qui doivent bien être comprises comme système de production des connaissances.

– Le CERN possède ses propres services techniques pour l'infrastructure permanente, alors que les services techniques propres à chaque expérience et donc à chacun des laboratoires, n'interviennent que ponctuellement sur les détecteurs lors de leur installation et à leur démarrage.

– Le CERN permet à certains physiciens de devenir des permanents du lieu, contrairement aux équipes de chercheurs des expériences qui font des aller-retour, certes fréquents, entre les détecteurs et leur laboratoire.

– Les réunions de pilotage scientifique et technique se tiennent au CERN pendant que les laboratoires n'éprouvent pas le besoin de tenir des conseils scientifiques internes pour leurs propres activités.

Cette structuration de la recherche permet par exemple au CPPM d'attirer des ingénieurs de haut niveau issus de l'industrie ; intéressés par le prestige scientifique international. Ils s'insèrent dans des structures matricielles propres au laboratoire qui, là encore, peuvent préfigurer l'avenir de l'investigation en physique des particules. La structure matricielle, implicite plus qu'explicite, fait du physicien le seul chef de projet. Elle permet de mener une investigation répondant aux contraintes de cohérence interne et de vérificabilité, tout en s'appuyant sur des procédures de gestion des activités technologiques proches de modèles industriels : cahier des charges, planification opérationnelle, allocation du temps, division fine du travail, sous-traitance, gestion des coûts (seul l'effet volume de production n'est pas intégré aux procédures).

3. L'histoire et l'évolution du CPPM

D'autres discontinuités doivent être identifiées pour tenter de projeter le CPPM dans le futur. Il existe en France, plus qu'ailleurs en Europe, une pyramide symbolique des savoirs de l'axiomatisation à l'expérimentation qui participe également à la structuration de la recherche. Il ne faut en effet jamais oublier que c'est avec sa pyramide des savoirs, que la France, au travers de l'IN2P3, s'insère dans l'institution internationale de gouvernement de la physique. Pour autant la spécificité nationale ne semble pas un handicap au regard d'autres pratiques nationales plus intégrées. Il reste toutefois des traces remarquables de cette spécificité dans les pratiques de segmentation de l'activité. La segmentation est un moyen indispensable de gestion de la diversité des opérations dans un processus de recherche complexe. Parmi les différentes modalités de segmentation possibles, l'IN2P3 a choisi un certain centralisme pour distribuer les spécialités des laboratoires et un type assez précis de planification hiérarchique pour définir ses objectifs, ses moyens et ses actions.

Il en ressort des irréversibilités tout à fait classiques, avec des points forts et des opportunités qui ne sont pas toujours explorées. La consolidation de la dimension industrielle de l'expérimentation est un signe de différenciation délibérée de la communauté des expérimentateurs vis-à-vis des axiomaticiens. On peut se demander, à juste titre, si ce processus va se renforcer dans un proche avenir et à quel rythme?

En s'appuyant sur leur heureuse mixité des ressources humaines, les laboratoires gagneraient à miser sur leur potentiel technologique pour établir des interfaces de valorisation. Avec sa structure matricielle, le CPPM a su doter ses services techniques d'une certaine autonomie pour aborder cette dimension possible de l'activité. Si l'évolution du CPPM ne peut pas être dissociée de celle de l'IN2P3, on peut penser que l'observation des actions autonomes de ses différentes composantes devra être suivie pour établir la contribution de l'expérimentation à la physique, et plus loin à la justification sociale des investigations.

The history of mathematics is a rich and diverse field that has shaped the modern world. It encompasses a wide range of topics, from ancient Greek geometry to modern algebra and calculus. The study of mathematics is not only a practical tool for understanding the natural world, but also a way of thinking that has influenced art, science, and philosophy. The history of mathematics is a testament to the human capacity for discovery and innovation.

A N N E X E S

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

PHYSICS DEPARTMENT

1954

A N N E X E 1

UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

Méthodologie

Cette monographie a été principalement réalisée à partir de l'analyse qualitative d'entretiens semi-directifs avec les responsables du laboratoire comme avec des chercheurs, des ingénieurs et des techniciens. Les personnes interrogées peuvent être qualifiées d'"échantillon significatif" par rapport au thème de l'étude. 25 entretiens ont été effectués sur un effectif total tournant autour de 100 personnes. Les critères d'âge, d'ancienneté et de sexe ont été respectés, par contre les chercheurs comme les enseignants/chercheurs sont sur-représentés par rapport à l'ensemble total de l'effectif, tout comme le sont les ingénieurs de recherche à l'intérieur de la catégorie des ITA. De façon volontaire nous nous sommes aussi centrés sur l'analyse d'un groupe d'expérience et nous avons donc privilégié les entretiens des individus travaillant sur ALEPH.

Par ailleurs, nous avons utilisé certaines données (listes de personnel, budgets,...) fournies par la direction du laboratoire.

Cette monographie a été discutée avec la direction du laboratoire.

Advertisement

The following advertisement is a reproduction of the original advertisement as it appeared in the Journal of the American Medical Association, dated July 1, 1911. The advertisement is for a product called "The Great Remedy" and is written in a style characteristic of early 20th-century medical advertising. The text is somewhat faded and difficult to read, but the general structure and content are discernible. It begins with a bold heading, followed by several paragraphs of text, and ends with a signature and address.

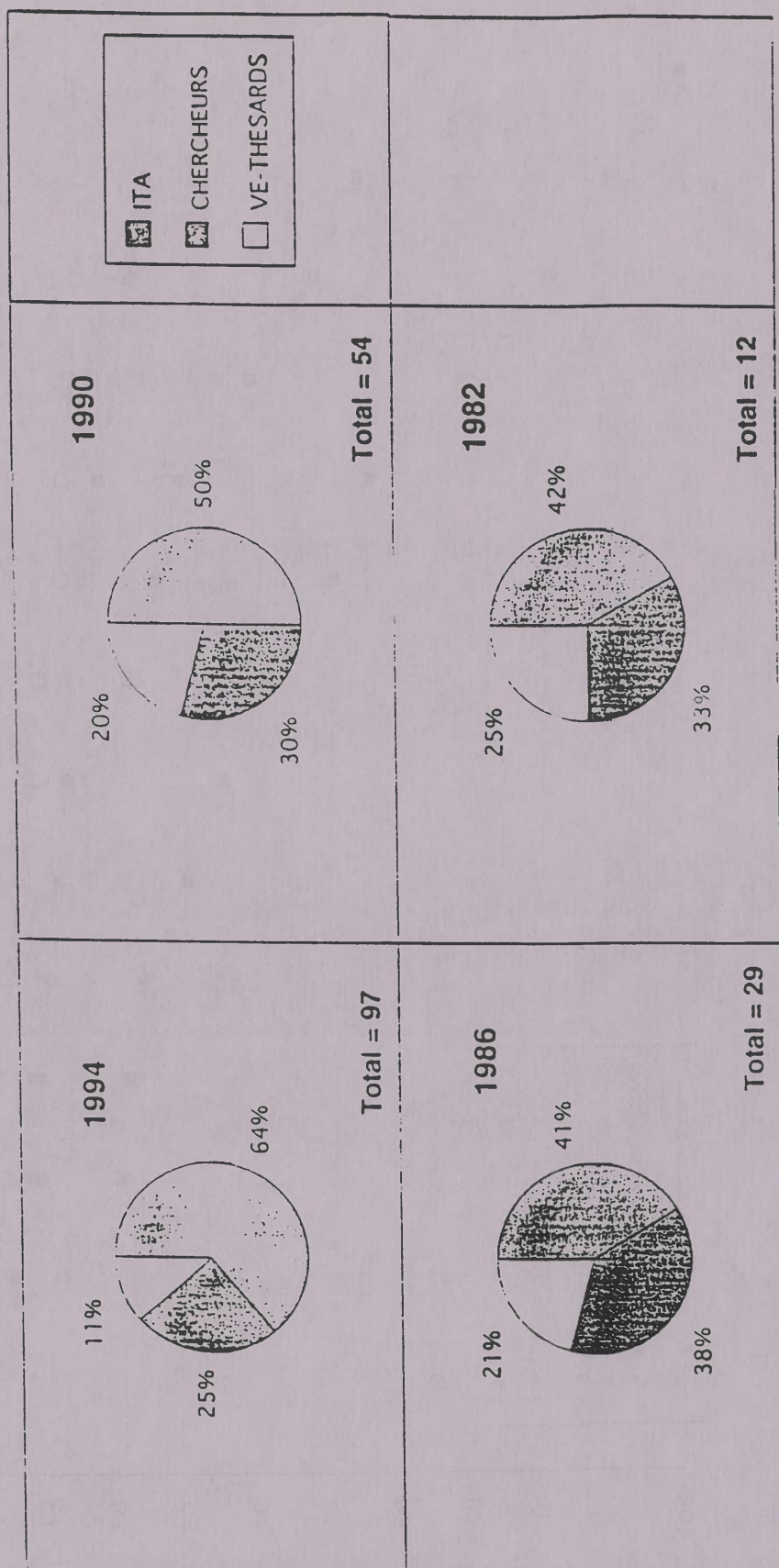
For further information, please write to the publisher, J. B. Lippincott Company, Philadelphia, Pa.

Published by J. B. Lippincott Company, Philadelphia, Pa.

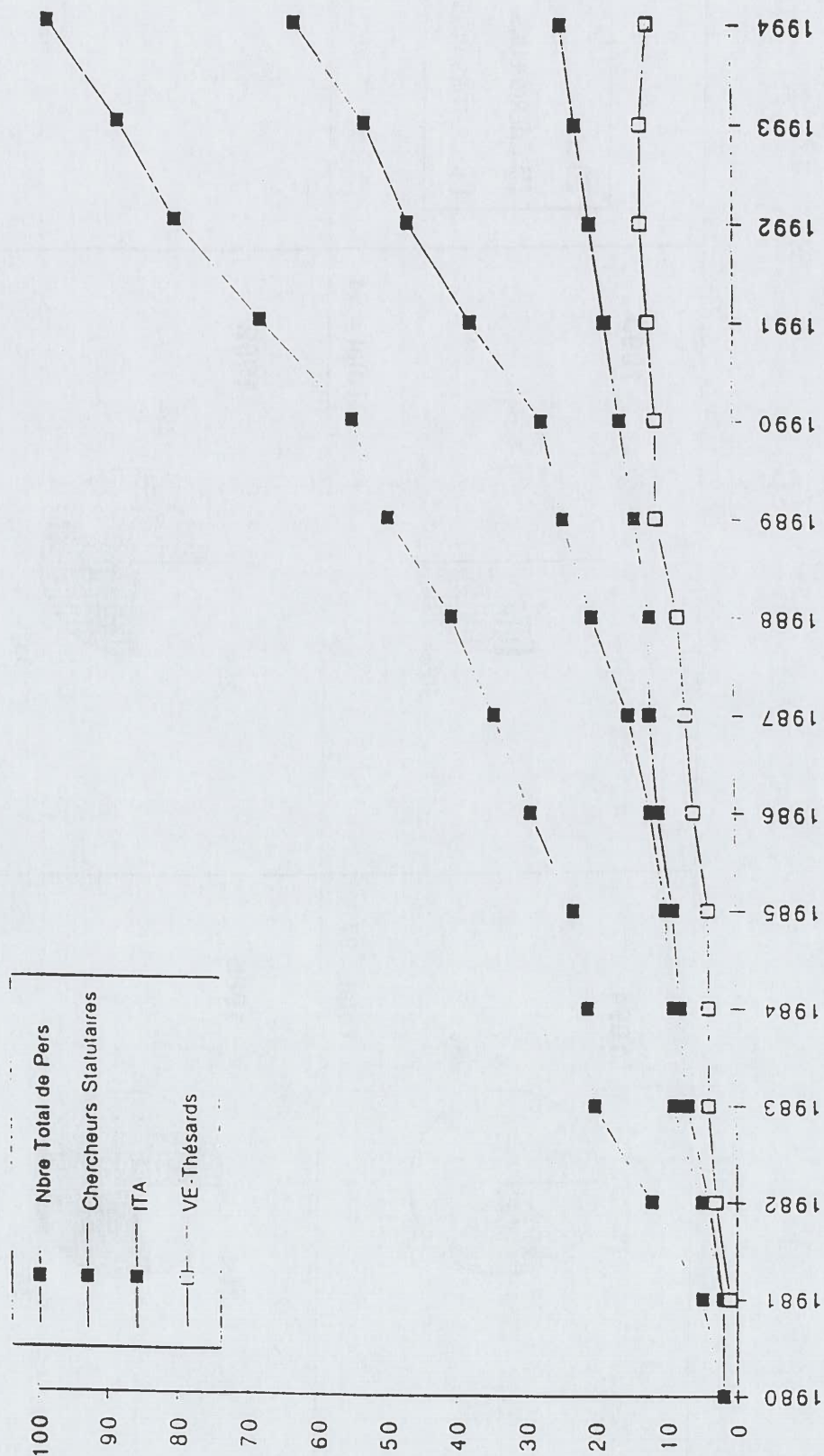
A N N E X E 2

2000

ÉVOLUTION DU PERSONNEL DU CPPM



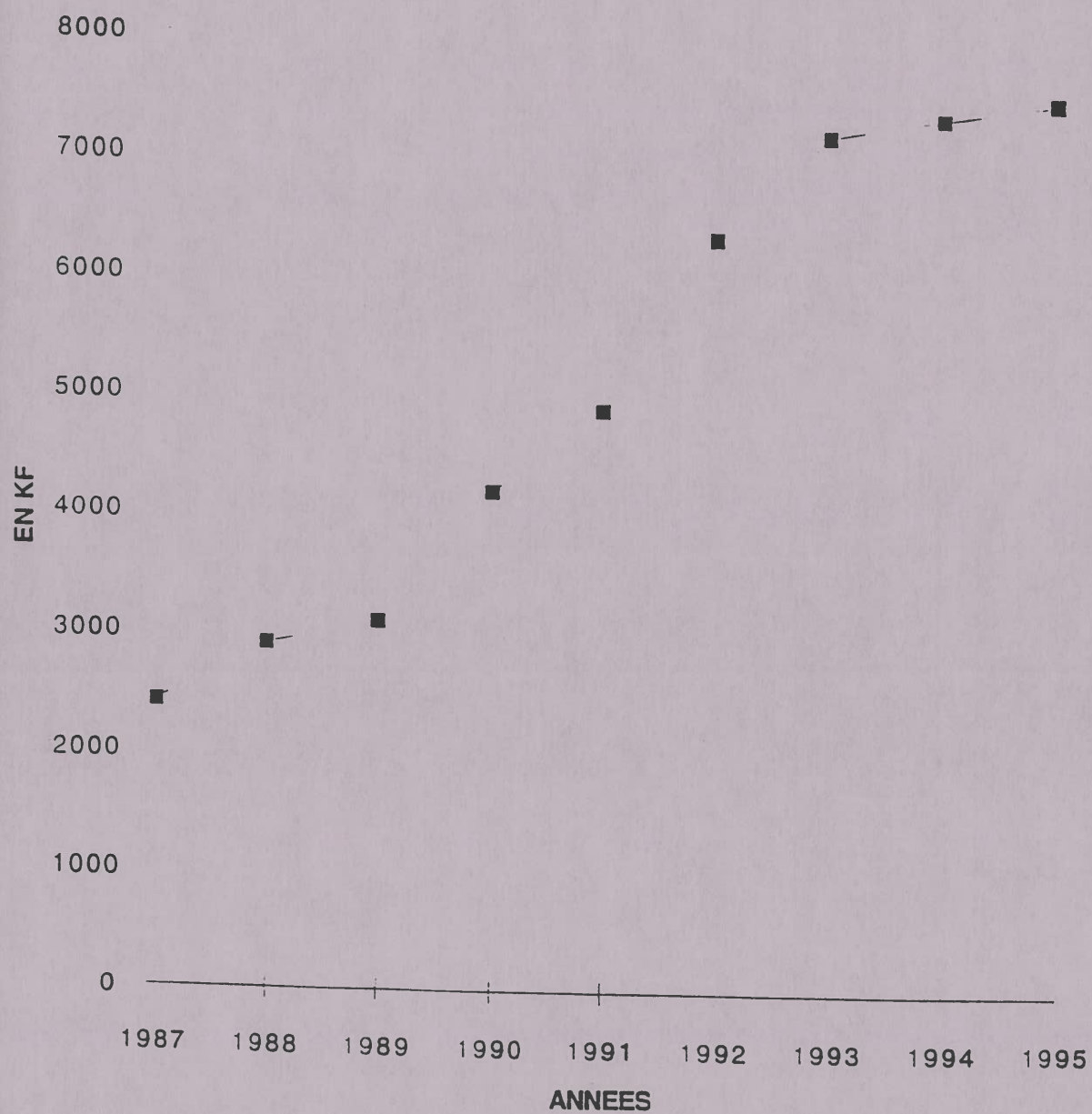
Evolution du nombre de chercheurs et de thésards de 1980 à 1994



A N N E X E 3

UNIVERSITY OF CHICAGO

EVOLUTION DES DOTATIONS EN SOUTIEN DE BASE



OFFICE OF THE ATTORNEY GENERAL

1900

1901

1902

1903

1904

1905

1906

1907

1908

1909

1910

RECEIVED

1910

A N N E X E 4

1970

CONTRATS D'OBJECTIFS ENTRE L'IN2P3 ET SES
LABORATOIRES

C.P.P.Marseille

COPIE

Les programmes de recherche seront poursuivis activement sur la violation CP et surtout la physique du Z^0 et de LEP 200 avec ALEPH.

Le Laboratoire s'engagera dans la construction et la mise en oeuvre de la partie pixel du programme de détecteur microvertex de DELPHI. Ce développement pixel sera aussi mené dans la perspective LHC.

Une participation croissante sera prise dans la préparation d'une expérience au LHC.

Le développement continu du laboratoire peut permettre d'envisager la participation à un autre programme.

Le renforcement des liens avec les établissements d'Enseignement Supérieur sera activement recherché.

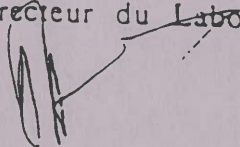
L'accroissement des effectifs sera poursuivi quoiqu'à un rythme moins rapide qu'au cours de la dernière période. Au moins 20 ITA nouveaux seront affectés en 4 ans au laboratoire avec un effort particulier pour les ingénieurs. L'objectif de croissance des chercheurs sera de 2 par an environ, y compris par mutation. Un effort sera fait pour que la création de postes d'enseignants-chercheurs maintienne l'équilibre du laboratoire mixte.

La dotation en soutien de base sera en augmentation relative pour accompagner la croissance des effectifs.

Ce contrat, continuellement amendable, est valable pour 4 ans.

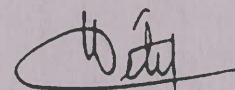
Fait à Paris, le 24 juin 1993

Le Directeur du Laboratoire



Jean-Jacques Aubert

Le Directeur de l'IN2P3



Claude Détraz

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

CONFIDENTIAL

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

CONFIDENTIAL - SECURITY INFORMATION

A N N E X E 5

UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS

LA FORMATION AU CPPM EN 94

99 départs en formation sur 65 stages différents, soit 318 jours de formation.

47% des agents ont bénéficié d'une formation dont 72 % des ITA.

REPARTITION PAR TYPE DE FORMATION :

- Formations techniques : 53 %	61%
- Séminaires, écoles IN2P3 : 8 %	
- Développement personnel + divers :	17 %
- Hygiène et sécurité :	15 %
- Bureautique :	7 %

PRISE EN CHARGE DES COÛTS DE LA FORMATION :

- <u>Prise en charge CPPM :</u> 73558 F (Inscriptions) + 79433 F (Missions) :	152.991 F
- <u>Prise en charge par la Délégation Régionale PACA :</u> - Prise en charge de formations extérieures : 18738 F (inscriptions) + 11640 F (Missions) :	83.178 F
- Formations organisées par la Délégation Régionale : 66 jours x 800 F =	52.800 F
- <u>Prise en charge par d'autres Délégations Régionales du CNRS :</u> - 35,5 jours x 800 F =	28.400 F
- <u>Prise en charge par l'IN2P3 des journées IAQ/CAO :</u>	39.400 F

THE ...

...

...

...

...

...

...

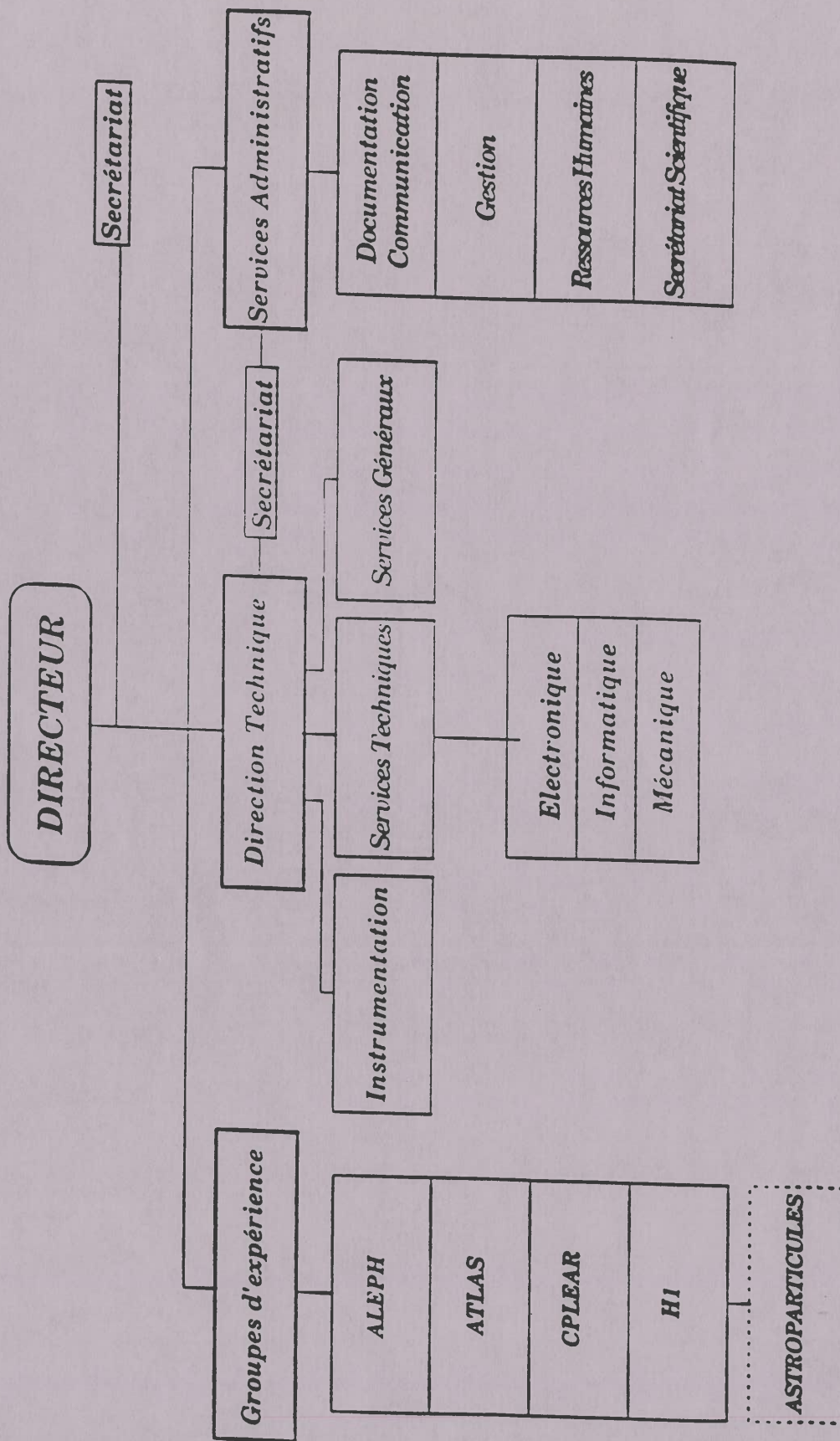
...

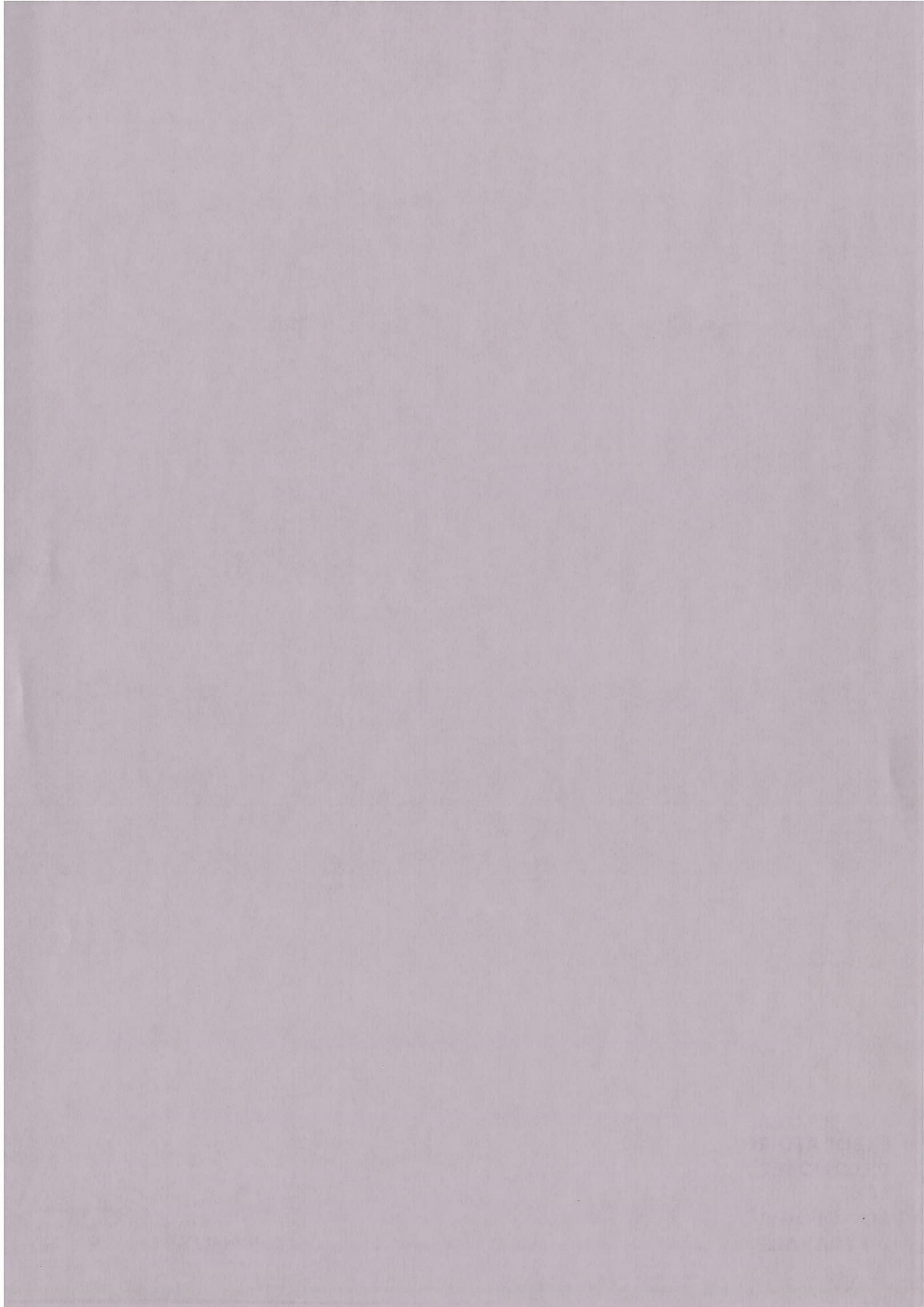
A N N E X E 6

EXHIBIT

14/3/96

ORGANIGRAMME FONCTIONNEL DU CPPM





**LABORATOIRE
D'ECONOMIE
ET DE
SOCIOLOGIE
DU TRAVAIL**

35, avenue Jules Ferry
13626 Aix-en-Provence Cedex
Tél. 04 42 37 85 00 - Fax 04 42 26 79 37