



HAL
open science

Le rôle de l'instrumentation dans le développement scientifique en physique nucléaire

Anne Branciard

► **To cite this version:**

Anne Branciard. Le rôle de l'instrumentation dans le développement scientifique en physique nucléaire : L'exemple de l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay. 1996. halshs-02561096

HAL Id: halshs-02561096

<https://shs.hal.science/halshs-02561096>

Preprint submitted on 3 May 2020

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.

Juillet 1996

LE ROLE DE L'INSTRUMENTATION DANS LE DEVELOPPEMENT SCIENTIFIQUE EN PHYSIQUE NUCLEAIRE

L'exemple de l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay

Anne BRANCIARD

Laboratoire d'économie et de sociologie du travail, CNRS

in Cohérence et dynamique des ensembles productifs : une approche comparative de la création d'activité nouvelle

Rapport de recherche pour l'appel d'offre CNRS « Gestion de l'innovation, politiques publiques de la science et de la technologie et appropriation des savoirs », LEST, 1996.

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 de l'Institut de Physique Nucléaire, laboratoire de l'IN2P3¹.

Alors que l'essor de la physique nucléaire s'est 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 et du

¹ Cf. Anne Branciard « *Changements technologiques dans l'instrumentation physique et mutations organisationnelles de la recherche : le cas de l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay* ». Rapport de recherche pour les 25 ans de l'IN2P3, LEST, 1996, 74p.

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.

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).

Alors que la dynamique de la physique nucléaire était, jusque dans les années 80, autocentrée, au sein d'une cohérence productive articulant les progrès de l'instrumentation et les avancées scientifiques (I), elle est contrainte de se redéployer, dans un double mouvement.

D'une part, avec la fermeture des équipements locaux et le développement des grandes collaborations sur des équipements en utilisation partagée au niveau international, les physiciens de l'IPN doivent migrer sur ces instruments collectifs.

Le passage sur les appareillages hors site et la participation aux "grands projets" d'équipements internationaux rompt l'isolement des chercheurs, en concentrant les thèmes, en suscitant des collaborations extérieures. Les pratiques imposées, en physique nucléaire, par la construction des nouveaux équipements et leurs délais d'utilisation, influent sur le processus de recherche, générant une continuité scientifique dans une cohérence productive recomposée à un échelon plus élevé que le niveau local ou national. Mais elles provoquent une désarticulation entre la dynamique de l'instrumentation et la dynamique des avancées expérimentales (II), et la diffusion de celles-ci dans un réseau fermé, mobilisé sur un paradigme, et opposé à la menace d'un asservissement de la recherche à des intérêts "utilitaires"².

² I. STENGERS, L'invention des sciences modernes, Ed. La Découverte, Paris, 1993.

D'autre part, 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, avec la biologie, la radiochimie, en physique atomique, en astrophysique, etc.

Ces recherches pluridisciplinaires s'opèrent autour des instruments (III), et ouvrent aussi bien sur un risque d'irruption des forces du marché dans la recherche publique, que sur une meilleure intégration socio-économique de la recherche, perçue comme un stimulant plutôt que comme un carcan, parce qu'assurant une meilleure exploitation du socle de connaissances qui représente un "investissement immatériel" pour des finalités de bien commun.

I. Une cohérence productive entre instrumentation et avancées scientifiques

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.

La recherche en physique nucléaire s'y 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 lui a été adjoint. L'IPN a ainsi développé une culture de conception et de construction d'accélérateurs. 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 dynamique très forte de la recherche sur les accélérateurs, requérant une organisation de production "en arsenal" 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 souvent rapide, et sachant s'adapter aux objectifs poursuivis dans l'instrumentation. 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. S'est ainsi créé un espace scientifique et technique particulier.

L'agrégation des 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 la mise au point de l'instrumentation et 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.

- La 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 manipulations, 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.

Mais la spécialisation des ressources du laboratoire engendre aussi 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 des 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.

- L' "ouverture" de l'IPN et les 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 les instruments locaux focalisant la fusion des savoirs et offrant le socle de leur dynamique conjointe.

Dans les années 80, se dessine un changement des conditions de production de la recherche à l'IPN, qui se déploie dans deux directions, la migration croissante sur de grands équipements extérieurs et l'émergence de la pluridisciplinarité. Le premier mouvement correspond à la politique des années 70 de mise en place de grands programmes technologiques destinés à construire des objets techniques complexes, liés à des acteurs identifiés entrant dans de grandes collaborations. Le second reflète la volonté des pouvoirs publics d'intégrer la science et la technologie aux forces productives, en renforçant leur dimension économique et sociale. Les contours de l'identité laboratoire s'estompent, tant sur le plan disciplinaire que topologique.

II. Vers une rupture dans l'organisation productive de l'instrumentation, liée aux "grands projets" internationaux.

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.

Une mutation progressive s'effectue dans les modes de travail du "noyau dur" de la discipline. 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 international³.

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 proton-thérapie pour traiter les tumeurs de l'oeil.

Reste, en fonctionnement depuis 1972, et pour quelque temps encore, le Tandem-MP (15MeV) 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 accélérateurs nationaux (GANIL, SATURNE, ESRF à Grenoble) et à aller travailler sur des sites extérieurs : HERA à Hambourg, ensemble EUROGAM à Daresbury, AGOR à Gröningen, SPS au CERN

(Na38), transfert des travaux de spectroscopie réalisés auprès du séparateur en ligne ISOCELE (Synchrocyclotron) sur ISOLDE au CERN. 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 entre instrumentalistes, théoriciens et expérimentateurs.

- Les objectifs de la physique fondamentale actuelle, et la concentration des moyens sous contrainte budgétaire, déplacent la production scientifique et technique sur des installations extérieures de plus en plus puissantes exigeant des techniques de plus en plus pointues, 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 tant d'accélérateurs (SPIRAL, LHC) que de multi ou macro-détecteurs. S'il n'y a pas vraiment de "rupture" dans la production technologique, la multiplicité et la variété croissante des objectifs se traduit en une fragmentation de la structure technique de l'IPN, et dans une discontinuité du processus de production instrumentale.

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 des accélérateurs se situe en amont de la machine, la conception des détecteurs se situe en aval et est indissociable de l'idée d'expérience. Elle n'a de sens que si elle est étudiée en imbrication complète entre électroniciens et physiciens, et pour les multi-détecteurs, 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, au moment du montage sur les accélérateurs.

³ M. CROZON, "La course aux particules" in Organisation de la recherche et conformisme scientifique, A. Esterlé,

Traditionnellement, 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 les techniciens des "Développements" électroniques, et pour les multi-détecteurs les ingénieurs mécaniciens également, participent à la conception des instruments, au niveau des prototypes, et de mêmes les tests sont effectués en commun.

Mais dans les projets européens, l'objet technique est construit à partir du cahier des charges et est essayé sur une manipulation, et là se joue la compétitivité. Si l'objet technique ne donne pas satisfaction par rapport à l'équipement, 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. Dans le domaine des détecteurs, l'obsolescence est très rapide, de même que dans l'informatique. La génération des multi-détecteurs 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.

- Depuis environ 1990, la réalisation des grands multi-détecteurs 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.

Ces éléments montrent que, actuellement, sur les grands équipements, la conception de l'instrumentation est "instrumentale" par rapport à une finalité de recherche théorique et expérimentale prédéterminée, les outils techniques ont un usage prescrit.

Pourtant, concernant la fonction instrumentale en physique, selon D. Pestre⁴ « *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. Le développement de l'instrumentation reposerait donc sur une **logique cognitive**.

Cependant, 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 et de travailler collectivement à des projets transversaux dont les "responsables de projet" sont extérieurs à l'IPN.

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 référait arbitrairement à une conception hiérarchique linéaire du processus de production) entre fonctions scientifique et technique, et à l'intérieur même de ces fonctions. Ceci conduit à un morcellement des corps de savoirs, notamment les savoirs théoriques et les bases scientifiques des connaissances techniques,

⁴ D. Pestre, "De la redéfinition des pratiques physiciennes durant la dernière guerre et la guerre froide", in l'Aventure humaine n°2, mai 1995, pp. 11-22.

auparavant en proximité, et qui tendent à évoluer désormais chacun le long d'une trajectoire propre.

D'une part, le champ scientifique est distribué aux 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 leurs axes thématiques spécifiques, qui participent de la construction à présent extravertie de "blocs de savoirs" en renouvellement.

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 de recherche diachroniques, constitué d'une séquence de phases articulées dans le temps, généralement dissociées géographiquement, et nécessitant des ressources humaines spécifiques à chaque phase. Les projets d'instruments sont liés aux projets sélectionnés d'utilisation de l'instrument, les prescripteurs sont les utilisateurs.

La fonction technique à l'IPN se trouve 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.

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 d'instrumentation et de développement scientifique du laboratoire, et des résultats respectifs des intervenants. 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"*⁵, l'impression fréquemment ressentie est celle d'une évolution vers une certaine "coupure" des équipes techniques chargées de l'instrumentation 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, une articulation entre techniques et normes de productivité de recherche.

La partie "étude et réalisation" des grands équipements est 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-pivot" dans un réseau centré, supportant une organisation industrielle de production de l'innovation instrumentale. Les modes de production des instruments sont définis au niveau du laboratoire assurant la fonction d'"attracteur". La mise au point de l'ensemble de l'appareillage des collisionneurs s'accompagne en effet de la création, à l'échelon 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. Celle-ci contraint à adopter des normes, 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. Cette rationalisation de la production de la recherche par une division technique et sociale 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

⁵ Rapport d'activité IPN, 1989-1990.

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 si le choix est fait de la maintenir en interne), et une accumulation de compétences de long terme pour renouveler en temps voulu leurs ressources.

Mais, au lieu d'une recomposition organisationnelle, on repère plutôt la décomposition de la cohérence productive précédente et une reconstruction à un échelon plus élevé que le local et le national, dans un réseau plus large. Les temporalités et les espaces d'action de la technologie et de la science, autrefois proches et imbriqués à l'IPN, 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.

Une grande part des chercheurs n'auraient plus 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 des 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.

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 des connaissances scientifiques et des techniques instrumentales, 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, se traduisant dans des "sauts technologiques" au lieu de progrès incrémentaux. 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, dans sa propre temporalité. Une telle politique avait été initiée 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.

Le fossé se creuse entre les besoins en instrumentation d'une physique de plus en plus difficile, et la formation et les potentialités actuelles du personnel scientifique et technique nécessaire pour la mener à bien. Au lieu du continuum revendiqué entre les recherches en cours et les développements techniques pour préparer l'avenir, on constate plutôt, du fait d'une accentuation 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 à l'instrumentation par les nécessités expérimentales d'avancées scientifiques virtuelles.

S'il y a une continuité scientifique, un processus linéaire, on discerne une discontinuité d'un point de vue technologique, parce que la sélection des options techniques, la mobilisation des forces, se font en fonction des voies d'investigation scientifique retenues dans un dispositif de définition "en entonnoir", au lieu de maintenir un potentiel à éventail large, une "veille technologique" sur un spectre de champs différents. L'ordre socio-technique dominant génère des techniques nouvelles "conformes" aux principes "sciento-technologiques" et cohérentes avec le nouveau mode d'organisation productive de la recherche ; il bloque ou écarte des innovations jugées "anormales" ou des nouveautés radicales susceptibles de le bouleverser. L'hyperspécialisation des équipements, les engagements à haut risque sur des temporalités très longues (10 ans de conception/construction, 10 ans d'expérimentation) sont source de rigidité et créatifs de coûts irrécupérables. On peut alors penser qu'on est, avec la pénétration des méthodes

de la "*big science*" dans la physique nucléaire, 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 et une structuration de la trajectoire scientifique par les instruments utilisés. Le modèle d'accumulation des connaissances et des avancées scientifiques s'inscrit dans la lignée d'axes de recherche développés autour d'instruments. 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 d'équipes, mais qui mobilisent un champ de connaissances homogène. La sélection des thématiques, la concentration des chercheurs sur des axes de recherche, prennent place dans un processus linéaire. Mais, avec l'arrivée aux limites de ses possibilités de la génération d'instruments actuelle, la poursuite de la trajectoire scientifique de la physique nucléaire et des particules dans un même paradigme, ne pourra se faire que par une innovation radicale, un **changement de technique** dans les méthodes d'accélération.

Parallèlement, la sélection des 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, les théories évolutionnistes montrent qu'il est préférable de préserver et élargir le choix des options possibles, de maîtriser une gamme de variété de technologies et de savoirs, afin d'échapper à des irréversibilités et ouvrir des perspectives alternatives et des bifurcations en cas d'impasse technico-économique.

L'évolution actuelle du travail scientifique et technique vers des grandes collaborations sur des équipements internationaux conduit à une réduction des potentialités de développement scientifique, par un double enfermement : d'une part, l'enfermement de l'instrumentation dans un contexte scientifique donné, la rend non-transférable à d'autres contextes (scientifiques ou pratiques) et non-renouvelable par d'autres techniques même plus performantes ; d'autre part, de façon interdépendante, le verrouillage du système expérimental par la concentration sur un type d'instrumentation réduit la variété des expériences possibles, dans une orthodoxie de la science qui interdit l'occurrence d'autres champs d'investigation.

Si l'on se situe actuellement dans une transition vers une recombinaison du processus de production scientifique et technique de la physique nucléaire, 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, pour la conception et la mise en oeuvre des projets d'instrumentation ?

III. Une recombinaison de l'articulation instrumentation/avancées scientifiques liée à la pluridisciplinarité

Au début des années 90, les principes généraux de l'organisation de la recherche publique, dans laquelle la communauté scientifique animait et régulaient au premier chef les avancées scientifiques et techniques, sont partiellement remis en cause.

La recherche fondamentale inspirée par la seule logique du progrès scientifique se mue en "recherche stratégique", où les objectifs économiques et sociaux de long terme jouent un grand rôle (Ferné, 1994)⁶, où l'on organise des collaborations entre acteurs multiples et variés dans le but de développer des compétences jugées stratégiques pour les entreprises ou le pays. Il s'agit d'opérer des passerelles entre la science traditionnelle et la technologie industrielle, pour favoriser des applications, sachant que la recherche seule ne donne pas lieu à des innovations, et que beaucoup d'innovations ne résultent pas de la recherche.

⁶ G. FERNE, "Recherche publique et recherche privée", in Organisation de la recherche et conformisme scientifique, sous la direction d'A. Esterlé, PUF, 1994.

L'évaluation des programmes scientifiques porte à présent aussi sur les capacités d'innovation et sur la création de compétences technologiques⁷, le **processus** de recherche acquiert autant d'importance que la recherche en tant que telle et ses résultats : il permet d'acquérir des capacités nouvelles d'exploitation d'éléments d'information, qui peuvent être transformés en nouvelles connaissances, via des compétences. Ces informations sont fournies par des objets techniques, les instruments, qui deviennent des médiations entre les savoirs qu'ils incarnent, et de nouveaux savoirs qu'ils développent par leur "variabilité", leur capacité à fonctionner de façon différente selon les contextes de pratiques dans lesquels ils s'inscrivent, et les conditions sociales de leur insertion.

En physique nucléaire, avec la prise de conscience des enjeux socio-économiques du développement scientifique et technique, l'importance des champs traditionnels décroît au profit de thèmes nouveaux liés à l'environnement, la sécurité, la santé. Les techniques nucléaires débouchent sur d'autres domaines, allant de la résistance des matériaux aux biotechnologies.

La transition dans l'organisation productive à l'IPN, liée à l'ouverture sur les grands équipements collectifs, correspond donc aussi à des repositionnements au sein de la physique nucléaire, vers une plus grande diversité aux frontières de la discipline. Autour d'instruments, des activités pluridisciplinaires émergent dans le domaine de la physique atomique, de l'interaction ions-matière, et de la détection pour la recherche biomédicale, impulsées notamment par des chercheurs pour lesquels la physique nucléaire pénétrée par les méthodes de la *big science* "ne produisait plus de sens", mais se conjuguant aussi aux incitations d'une direction de l'IN2P3 soucieuse d'ouvrir les recherches de l'Institut aux besoins socio-économiques, pour reconquérir une légitimité sociale. On passe donc d'un système fermé où tous les risques sont circonscrits à une communauté scientifique délimitée financée par l'Etat, à un système ouvert où l'issue en terme de développement scientifique et technologique dépend de partenariats, de conditions économiques, et même des choix des utilisateurs, donc d'une diversification des objectifs poursuivis par les établissements publics de recherche, qui doivent « gérer efficacement des pertinences enchevêtrées » (Ferné, 1994). La politique de recherche laisse une place croissante

⁷ P. MUSTAR et P. LAREDO, "La France et le modèle du garant" in La gestion stratégique de la recherche et de la

aux initiatives de proximité, basées sur les relations sociales et l'apprentissage. L'organisation productive mettant en relation l'amont et l'aval de l'instrument, support de techniques productives, crée des conditions d'**innovations** liées à la mise en coordination de savoirs qui sont à la fois à l'origine et l'expression "contextualisée" de l'instrument.

Le développement de techniques instrumentales permet leur transfert vers l'industrie, avec pour principal débouché la recherche, fondamentale ou appliquée, mais aussi des applications débordant ce cadre. On peut citer à ce titre les spectromètres de masse, les détecteurs à chambres multi-fils, les détecteurs à scintillation, valorisables par l'industrie dans différents domaines.

L'ouverture scientifique de la physique nucléaire sur d'autres disciplines se traduit dans la mise en valeur de ses connaissances dans d'autres domaines, débouchant sur des collaborations autour d'instruments, ou dans la mise à disposition d'autres disciplines d'instruments et de technologies permettant de nouvelles approches de leurs objets d'étude. L'IPN illustre, avec certaines de ses équipes, ce second volet du mouvement d'ouverture de la physique nucléaire.

- Le cas le plus simple de valorisation est celui du transfert à d'autres disciplines d'instruments et 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, on peut citer l'exemple du synchrocyclotron de l'IPN qui a été cédé fin 1989 à un Centre de proton-thérapie traitant des tumeurs cancéreuses. Sur le GANIL, un programme d'études pluridisciplinaires initié en 1991, prévoyait des expériences relevant de la physique, radiobiologie, biologie, en contact avec des radiothérapeutes cliniciens, pour mettre en évidence l'intérêt scientifique d'un nouveau mode de radiothérapie par faisceaux d'ions lourds stables et radioactifs, par rapport aux rayonnements conventionnels. Dans les deux cas, l'utilisation de l'instrumentation physique rajoute une option dans le choix des techniques, pour un champ de pratiques existant.

- Des ouvertures 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, avec l'utilisation industrielle de faisceaux du GANIL. La physique non-nucléaire avec des ions multichargés trouve de multiples valorisations dans d'autres disciplines, telles la physique atomique et la physique des interactions particules/matière. Sur l'accélérateur TANDEM, une ligne a été aménagée pour des études d'interactions ions lourds/matières et surfaces, dans le cadre d'applications aux études spatiales, et d'interactions ions lourds/plasmas pour la physique des agrégats.

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 et les services techniques. En octobre 1982, 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. Cela 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 radio imageur RIHR, dont les performances sont adaptées à des sources faiblement lumineuses, est à l'étude 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 déjà une dizaine d'années dans des recherches sur le **traitement des combustibles irradiés et la gestion des déchets radioactifs**.

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 électronucléaire (PRACEN) était approuvé par le Conseil Scientifique en 1993. Il s'articule autour de trois rubriques :

- les études radiochimiques liées aux conditions physico-chimiques de stockages en surface et en profondeur des déchets, et la séparation de certains radioéléments 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, le 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 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". Issue de la physique nucléaire des ions lourds, elle développe 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 du CNRS, donc d'une appropriation publique de la découverte, et d'une licence d'exploitation industrielle.

Dans sa configuration initiale, le RIHR était spécifique à son utilisation "biologique". L'étude en coopération avec le CERN d'un prototype de CDD intensifié auto-déclenché a permis une nouvelle version, d'abord testée en biologie pour le multi-marquage (Micro-Imager), puis exploitée dans d'autres contextes (radiochimie, radiobiologie, géologie). Son adaptation est 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 peropératoire (imagerie in vivo), financé par le programme Ultimatech du CNRS.

Sur la lancée des détecteurs, l'équipe est 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 chimie-luminescents 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 peropératoire (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 TOHRE), 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 autorisation de programme. 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 "Interfaces Physique /Biologie", 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 des constructions de réseaux de neurones.

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

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

L'appropriation de l'instrument par d'autres disciplines élargit le potentiel de recherche, par l'ouverture de nouveaux champs de recherche en aval de l'instrument, mais un maillon industriel est nécessaire pour le passage à l'innovation, et le transfert s'avère difficile, en raison d'une interface institutionnelle recherche/industrie insuffisante.

Par ailleurs, l'analyse des limites de l'application de l'instrument révèle la complexité des phénomènes, et ouvre de nouvelles voies de recherche interdisciplinaires, en amont de l'instrumentation.

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/applications produit une structure en arborescence des thématiques : transformation de découvertes scientifiques et techniques productives par le support d'instruments, 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 hétérogènes 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.

Le modèle d'accumulation des connaissances des équipes du "noyau dur" de l'IPN s'inscrivent dans la lignée des axes de recherche développés à l'IPN depuis sa fondation. Sur cette trajectoire, des avancées incrémentales sont issues des résultats d'une succession d'expériences sur des thématiques, mobilisant 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 de recherche 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 de recherche discontinu, par itération entre la recherche instrumentale, ses applications, et les avancées scientifiques qui en découlent. Il n'y a pas de dichotomie entre la création et l'adoption de l'instrument, grâce au relais d'"acteurs

hybrides" qui articulent la conception de l'instrument à une "demande" potentielle qu'ils traduisent. Les concepteurs ne sont pas les utilisateurs, mais l'instrument est "co-produit" dans l'interférence de l'offre et de la demande.

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 des équipes de PN traditionnelles, 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 II). L'équipe utilise des détecteurs de plus en plus souvent achetés à l'extérieur, mais dédiés à une expérience spécifique. Ils ont donc un **usage prescrit.**

L'équipe "Interfaces Physique/Biologie" illustre le caractère interactif de la relation connaissances scientifiques / techniques instrumentales. S'appuyant sur l'infrastructure technologique scientifique 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 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"⁷. 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"⁸, 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 techniques 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.

La rupture de la cohérence productive initiale de l'IPN a donc généré deux modèles de production de la recherche, articulés différemment à la dynamique instrumentale, mais qui présentent 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, i-e. le patrimoine de l'IPN actualisé par une "veille technologique", 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.

⁸ D. PESTRE, *op. cit.*

Conclusion : L'instrumentation, relais de la science bien public ou bien privé ?

En physique nucléaire, le processus de production de la recherche s'oriente dans deux voies différentes, qui posent toutes deux, en termes paradoxaux, la question de l'appropriation de la science.

La concentration des chercheurs sur de grands appareillages collectifs au sein de coopérations internationales, la centralisation, due aux recoupements entre institutions nationales et internationales, des décisions stratégiques, 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 nucléaire.

Outil de rationalisation des activités scientifiques et techniques, ce modèle est porteur d'un mouvement vers une division technique et sociale du travail, et de mutations dans l'organisation productive des laboratoires pour assumer des procédures, sinon un contenu de travail, de type quasi-industriel. Il s'ensuit une décomposition de la cohérence productive antérieure, qui était fondée sur la proximité et l'interactivité des fonctions scientifique et technique, dans une conception symbiotique de l'instrumentation et des avancées scientifiques. Se construit une désarticulation entre la dynamique de la discipline et la dynamique de l'instrumentation, résultant de la non-prise en compte de la temporalité propre des développements cognitifs nécessaires au progrès des instruments. Pour sauvegarder des devenirs possibles, ouvrir des perspectives, seraient nécessaires le maintien et l'enrichissement d'un éventail de savoirs techniques, s'inscrivant dans une base de savoirs collective qui ne s'épuise pas dans les objets requis par la séquence de construction des grands équipements.

Le processus de développement scientifique continu s'appuyant sur un processus technique discontinu repose sur une conception "instrumentalisée" de l'instrumentation, qui par la lourdeur et la concentration des investissements qu'elle requiert, et leur temps d'immobilisation, produit un modèle d'accumulation linéaire des avancées scientifiques, porteur de réductionnisme

et d'un certain conformisme au sein de la communauté mobilisée sur les équipements d'accélération et de collision.

On peut en déduire une double conséquence. D'une part, les possibilités des voies de recherche sur ce type d'équipement étant épuisées, une innovation radicale dans la technologie devra surgir pour poursuivre le développement scientifique de la physique nucléaire et des particules dans un même paradigme. Alternativement, l'interaction entre un système technique "autonomisé", et de nouveaux choix socio-économiques quant à l'organisation de la production de la recherche et la division du travail, pourrait faire émerger un nouveau paradigme scientifique.

Mais le pilotage "par l'amont" du développement scientifique de cette discipline en fait une construction scientifique unilatérale, sans articulation à une "demande" de la société ou à des besoins collectifs. Les informations issues de l'expérimentation sont transformées en connaissances en circulant dans un réseau fermé, une configuration support de convergence et de risques d'irréversibilité. Les avancées scientifiques font l'objet d'une appropriation "privée" par une communauté scientifique largement "autonome" de son environnement politique et social, et qui fait prévaloir son ordre dominant. Inversement, l'ouverture de la physique nucléaire à des dimensions sociales et économiques pose différemment le problème de l'appropriation de la science, dans un pilotage "par l'aval". La technologie de la physique nucléaire (ses instrumentations propres) peut créer les conditions de variabilité et de diversification en prenant en compte les "demandes" des techniques qui la constituent, et de leur inscription dans des collectifs variés, des reconfigurations locales de réseaux qui, par leurs pratiques, modèlent à leur tour cette variabilité, en introduisant à de nouveaux champs de recherche ou d'applications dans un processus en arborescence. Cette "variété" n'est pas une caractéristique ontologique de l'instrumentation, c'est un construit social, en ce sens que la technique ne recouvre pas seulement des objets, des outils, et des modes opératoires, mais également l'ensemble des rapports sociaux que les hommes tissent entre eux, avec leur environnement, et avec la matière pour la faire fonctionner, selon des choix politiques et sociaux, plutôt que de laisser les forces économiques et la logique marchande façonner les principales orientations des technologies⁹ : l'instrumentation

⁹ J. PERRIN, "Comment naissent les techniques", Ed. Publisud, 1988.

est potentiellement porteuse de progrès sociaux sur des objectifs collectifs. Elle peut permettre à la science d'être source de diversité et de flexibilité¹⁰ et, à ce titre, indépendamment du statut des acteurs de son développement, d'être un "bien public".

¹⁰ M. CALLON, "Is science a public good ?", Fifth Mullins lecture, 1993.