

LA GESTION INTERNATIONALE DES GRANDS PROGRAMMES DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE

L'EXEMPLE DE LA PHYSIQUE DES PARTICULES

PAR

JOËL FELTESSE (*)

INTRODUCTION

Depuis la Grèce ancienne, les physiciens ont cherché à découvrir les composants ultimes de la matière dont est composé l'univers (1). Il y a deux mille ans, c'était une intuition géniale de concevoir que la matière est composée de particules très légères, invisibles et indivisibles que nous appelons maintenant les particules élémentaires. Aujourd'hui, les physiciens des particules du monde entier sont convaincus que la remarquable diversité de la matière visible provient d'un petit nombre de principes d'une admirable simplicité. Ces principes se manifestent par l'action de quatre forces (2) sur une quantité limitée de particules élémentaires. Cette découverte peut être considérée comme l'un des exploits scientifiques les plus fascinants du XX^e siècle. En faisant l'étude des particules élémentaires et de leurs interactions, les physiciens participent à une exploration vers l'infiniment grand et l'infiniment loin, en allant vers les premiers moments de l'univers, il y a quinze milliards d'années.

L'exploration de la matière n'a pu se faire que parce que les physiciens et les ingénieurs ont su imaginer, inventer et construire de grands instruments, des microscopes géants, dans le cadre de grands programmes de recherche. Ce n'est pas par folie des grandeurs mais simplement par nécessité technique. Les physiciens ne savent tout simplement pas explorer l'infiniment petit ou l'infiniment grand sans des instruments gigantesques. La motivation des scientifiques est la même, qu'ils fassent une expérience sur une paillasse de laboratoire ou auprès d'un accélérateur de particules de 30 km de circonférence.

(*) Chercheur au CEA/Saclay et président du Comité de directives scientifiques du CERN.

(1) PLUTARQUE (50 ap. J.-C.), citant DÉMOCRITE (460 av. J.-C.) : « *tout est atomes qu'il appelle aussi idées et il n'est rien d'autres* ».

(2) La force gravitationnelle, la force électromagnétique, la force faible responsable de certaines désintégrations radioactives et la force forte qui assure la cohésion du proton.

Depuis le milieu du XX^e siècle, les physiciens ont ainsi été amenés à mettre en place des équipements scientifiques de plus en plus lourds, afin de sonder la matière à une échelle de plus en plus petite. Cet effort a exigé de plus en plus de moyens à la fois financiers et humains. La coopération en Europe s'est naturellement développée et plus particulièrement après la Seconde Guerre mondiale. La nécessité de coopération internationale s'appuyait sur une volonté explicite de dominer les antagonismes historiques. Comme rapporté par Robert Jungk, dans son ouvrage sur le CERN, *Die grosse Maschine* (3), dès l'automne 1946, le porte-parole de la délégation française auprès du Conseil économique et social, Henri Laugier, avait proposé la création de laboratoires internationaux, une proposition qu'il justifiait par ces mots : « *le travail créateur en commun des chercheurs de nations différentes contribuera grandement à faire naître un esprit international* », répondant ainsi, cent ans plus tard et après combien de terribles conflits, à la célèbre phrase de Louis Pasteur : « *si la science n'a pas de patrie, l'homme de science en a une* ». Les premières discussions n'aboutirent pas à des résultats tangibles, mais elles ont ouvert la voie à un nouveau mode de concertations entre les scientifiques de nations différentes et à une nouvelle forme de dialogue entre l'élite scientifique et l'élite politique, qui conduiront à la réalisation de grands programmes internationaux. Ce dialogue entre le scientifique et le politique est devenu particulièrement fécond dans une Europe qui avait perdu sa position dominante en science et où était né un désir profond de dominer les antagonismes historiques.

Cinquante ans plus tard, la coopération scientifique évolue et devient de plus en plus mondiale. Aujourd'hui, la physique des particules élémentaires, aussi appelée physique des hautes énergies, est une discipline fondamentale dans laquelle la coopération européenne et internationale est bien établie. La coopération peut prendre de nombreuses formes. Par exemple, les modes d'organisations pour la construction et l'opération des accélérateurs de particules sont bien différents de ceux utilisés pour la construction et l'exploitation des expériences géantes qui utilisent ces accélérateurs. Dans les deux cas cependant il peut s'agir de programmes internationaux de très grande ampleur.

CONSTRUCTION ET OPÉRATION DES ACCÉLÉRATEURS DE PARTICULES

La structure organisationnelle mise en place pour construire et faire fonctionner un accélérateur est largement corrélée à la taille, à la complexité et au coût de l'accélérateur. Il est possible de classer les accélérateurs en trois catégories.

(3) Robert JUNCK, *Le CERN. Une Internationale des Savants*, Editions du Seuil, 1968, 252 p.

Les accélérateurs nationaux, construits et exploités par un seul pays

Il est beaucoup plus simple de construire une machine nationale, sans avoir à faire appel à d'autres pays. Ce modèle galvanise la motivation des chercheurs et favorise l'esprit de compétition pacifique qui est source de progrès. Néanmoins, les coûts augmentant, la duplication est devenue un luxe. La planification et le choix des paramètres, comme le type de particules à accélérer et leur énergie cinétique, ont fait de plus en plus l'objet d'une concertation internationale sous la forme de consultation d'organismes régionaux, tel que le Comité européen des futurs accélérateurs (ECFA), ou même d'organismes internationaux, comme le Comité international des futurs accélérateurs (ICFA). L'utilisation des équipements nationaux est néanmoins ouverte aux physiciens du monde entier selon des modalités que nous détaillerons un peu plus loin.

Les accélérateurs ou systèmes d'accélérateurs qui ne peuvent pas être financés par un seul pays

Dans le cadre d'accords bilatéraux entre gouvernements ou entre agences de financement, le pays hôte de l'accélérateur fait appel à des contributions d'autres pays sous la forme de composants de l'accélérateur ou de prêt de personnels. Les contributions des participants extérieurs ne représentent qu'une faible partie du coût total et prouvent l'intérêt que la communauté internationale porte au projet. L'équipement, ici encore, est planifié et défini après consultation régionale et internationale. Le pays hôte garde la responsabilité de la construction et de l'exploitation. Ce modèle est souvent appelé le « modèle HERA », du nom de l'accélérateur Hadron Elektron Ring Anlager, construit à DESY, le grand laboratoire pour la physique des particules de Hambourg. Il est cependant difficile de l'extrapoler pour des projets plus importants, où les contributions entre pays seraient nécessairement mieux partagées.

Les très grands projets réalisés dans le cadre d'un laboratoire international

Plusieurs États peuvent se grouper pour créer un laboratoire international, dont les États-membres financent en commun la construction et l'opération de grands projets. Le CERN (Centre européen de la recherche nucléaire) (4), le grand laboratoire européen pour la physique des particules,

(4) L'adjectif nucléaire résulte du vocabulaire de l'époque de la création du CERN, où la recherche en physique des particules faisait partie de la physique nucléaire (du noyau). Ce n'est que plus tard que la physique des particules se distinguera de la physique du noyau. Réviser la Convention de 1953 aurait été une procédure longue et périlleuse, aussi n'a-t-on rajouté que le surnom « Laboratoire européen pour la physique des particules ».

créé il y a juste cinquante ans en octobre 1954, en est le meilleur exemple (5).

Nous examinerons d'abord la structure juridique (6) et scientifique du CERN, puis le mode d'organisation des très grandes expériences, et aborderons ensuite le rôle des comités internationaux dans l'établissement d'une politique scientifique commune en Europe et dans le monde. Nous terminerons par l'évolution en cours vers la réalisation d'un projet mondial.

LE CERN

Installé dans la banlieue de Genève, à cheval sur la frontière franco-suisse, le CERN est la première grande organisation internationale de recherche scientifique qui ait été créée plusieurs années avant le Traité de Rome. Ce fut un exceptionnel succès. Le budget annuel est à présent environ d'un milliard de francs suisses. Il y a sept mille utilisateurs de toutes nationalités qui utilisent les installations du CERN. Le modèle d'organisation du CERN a inspiré la création d'organisations internationales dans des domaines scientifiques voisins, comme l'European southern observatory (ESO, l'Organisation européenne pour des recherches astronomiques dans l'hémisphère austral) ou l'European spatial agency (ESA ou ASE, pour Agence spatiale européenne) ou, dans un domaine scientifique un peu plus éloigné, l'European molecular biology laboratory (EMBL ou LEBM, le Laboratoire européen de biologie moléculaire).

La mission du CERN a été clairement énoncée dans son texte fondateur, la Convention : « *L'Organisation assure la collaboration entre Etats européens pour les recherches nucléaires de caractère purement scientifique et fondamental, ainsi que pour d'autres recherches en rapport essentiel avec celles-ci. L'Organisation s'abstient de toute activité à fins militaires et les résultats de ses travaux expérimentaux et théoriques sont publiés ou de toute autre façon rendus généralement accessibles* » (article II de la Convention).

Statut juridique du CERN

Le CERN est une organisation intergouvernementale. C'est un élément fondamental sur le plan juridique : seuls les Etats peuvent y adhérer. Ce n'est pas une institution nationale, un laboratoire suisse ou français ; ce n'est pas non plus une coopération internationale en forme de société civile de droit national, comme le laboratoire European synchrotron radiation facility à Grenoble. Le CERN a une personnalité juridique propre ; il est juridi-

(5) Il existe aussi à Dubna, en Russie, un centre de recherche en physique des particules, qui regroupait de nombreux pays du bloc de l'Est et qui maintenant s'oriente principalement sur la physique nucléaire.

(6) La structure juridique du CERN est très bien décrite dans l'interview de Jean-Marie DUFOUR, ancien conseiller juridique du CERN, au journal *GRAVITON*, le périodique de libre expression du personnel du CERN, (n° 26, septembre 2003), dont nous nous sommes beaucoup inspiré.

quement indépendant de tous les Etats qui l'ont créé. Cette personnalité a un caractère international, parce qu'elle a sa source dans la Convention constitutive de 1953, signée par les représentants des gouvernements et ratifiée par les Parlements. Chaque pays membre contribue au budget au prorata de son revenu national net, sans dépasser 25 % du budget total. Le statut international du CERN est un instrument essentiel, qui lui a permis et de connaître un rayonnement scientifique mondial et de résister aux aléas politiques dans les Etats membres, tout en s'ouvrant progressivement à l'ensemble des pays européens bien avant qu'ils ne rejoignent l'Union européenne.

Les pays membres

Les pays fondateurs étaient onze Etats de l'Europe de l'Ouest : la République fédérale allemande, la Belgique, le Danemark, la France, la Grèce, l'Italie, la Norvège, les Pays-Bas, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et un Etat n'appartenant ni à l'Ouest, ni à l'Est, la Yougoslavie. La Convention constitutive indique que le CERN a pour but d'assurer la « *collaboration entre Etats européens* », mais est silencieuse sur les critères à remplir pour les prétendants : faut-il être Européen ? et si oui, que signifie cela ? La seule exigence est purement politique : l'approbation unanime des Etats membres est nécessaire à l'admission d'un nouveau membre. Ainsi, entre 1953 et 1989, le CERN passe de douze Etats membres à quatorze. Successivement, l'Autriche, l'Espagne (7) et le Portugal adhéreront, tandis que la Yougoslavie se retirera dès 1955 pour des raisons surtout financières.

La fin de la coupure de l'Europe en deux blocs a entraîné pour le CERN un élargissement en direction de l'Europe centrale. La Finlande sera la première à rejoindre le CERN en 1990, suivie par la Pologne, la Slovaquie, la République tchèque, la Hongrie et, plus récemment, la Bulgarie, en 1999. Pour ces Etats, l'adhésion au CERN représentait la conclusion logique de relations scientifiques anciennes, sans oublier naturellement que l'adhésion à une organisation européenne pouvait représenter une avancée en direction de l'Union européenne.

Le statut des Etats membres du CERN repose sur un point essentiel : les Etats membres sont égaux en droit entre eux. Les Etats ont les mêmes droits et devoirs (participer aux programmes de l'Organisation ; voter ; contribuer financièrement aux dépenses du CERN proportionnellement à leurs ressources nationales, avec cependant des aménagements possibles pour les nouveaux membres pendant les premières années de l'intégration dans l'Organisation ou, plus généralement, en cas de difficultés particulières dans un Etat membre).

(7) L'Espagne a quitté le CERN en 1968, puis est revenu en 1982.

Le Conseil du CERN

Le fonctionnement du CERN repose sur le Conseil et ses Comités, qui forment le pouvoir délibératif, et sur le Directeur général, qui a le pouvoir exécutif. Le Conseil est l'organe suprême qui détermine la politique générale de l'organisation. Chaque Etat membre y est représenté par deux délégués : un scientifique et un administrateur ou diplomate (de nombreuses délégations se font représenter par leur ambassadeur), qui peuvent être accompagnés de conseillers en nombre limité. Le conseil prend les décisions politiques importantes, approuve les programmes d'activités, le budget (dépenses et ressources) et les règles générales qui constituent le cadre de fonctionnement du CERN, comme le droit du travail, le droit social et les accords internationaux. Depuis la création du CERN, le Conseil est assisté dans sa tâche par trois comités consultatifs : le Comité du conseil, le Comité des directives scientifiques et le Comité des finances. Les décisions du CERN se prennent naturellement en collaboration entre le Conseil et ses Comités et le Directeur général. Le Directeur général est nommé par le Conseil pour cinq ans et est le seul responsable devant lui. C'est au Directeur général qu'incombe la gestion du laboratoire et de ses ressources humaines et matérielles.

La pratique courante au Conseil est de rechercher inlassablement le consensus avant de passer au vote. Le principe de base est défini dans la Convention fondatrice du CERN : « *chaque Etat membre dispose d'une voix au Conseil* ». Ce principe, qui reflète la volonté politique des Etats-fondateurs, se heurte à la réalité des contributions budgétaires des Etats membres, qui varient maintenant de 25 % à moins de 1 %. Les quatre grands, Allemagne, France, Italie, Royaume-Uni, qui, ensemble, contribuent à 70 % des ressources, auraient pu être mis en minorité par les seize autres Etats membres pour les décisions les plus importantes, qui requièrent pourtant une majorité des deux tiers. Ces dernières années, le CERN a contourné cette difficulté en adoptant pour le Comité des finances une règle de vote pondéré, dite de double majorité, pour les décisions budgétaires importantes : il faut non seulement la majorité des voix, mais, en plus, ces voix doivent représenter au moins 51 % de l'ensemble des contributions financières des Etats membres (8). Pour ne pas avoir à modifier la Convention intergouvernementale de 1953, ce qui aurait exigé une procédure longue et périlleuse, incluant une ratification par les Parlements nationaux, la nouvelle règle de vote n'a été introduite que dans le seul Comité des finances. Et, comme l'avis du Comité des finances n'est que consultatif, le Conseil du CERN, pour lequel la règle « un Etat, une voix » est de rigueur, s'est toujours interdit, par un accord de bonne pratique, de mettre au vote une mesure qui aurait été rejetée par une majorité pondérée au Comité des finances.

(8) Pour les votes les plus importants, il est de plus demandé que les voix représentent 70 % des contributions financières des votants, les abstentions étant considérées comme votant contre.

Les partenaires et les nouveaux membres

Ainsi que nous l'avons vu plus haut, les partenaires du CERN ne se limitent pas aux Etats-fondateurs. La volonté d'ouverture du CERN est inscrite dans sa Convention constitutive et s'est traduite depuis la création du CERN par des développements importants : l'arrivée de nouveaux Etats membres, l'évolution du statut d'Etat-observateur et tout récemment, en 2002, la création du statut d'Etat associé.

Aujourd'hui, le CERN compte vingt Etats membres et d'autres Etats envisagent d'en devenir membres, comme par exemple l'Irlande, la Roumanie, la Slovénie, les Républiques baltes, la Turquie, l'Ukraine et Israël. Pour se préparer à un nouvel élargissement, le CERN a reprecisé en 2001 les conditions d'adhésion de nouveaux pays à l'Organisation. Auparavant les conditions d'adhésion n'avaient jamais été définies officiellement, ce qui reflétait l'esprit de souplesse qui avait marqué la création du CERN. Depuis 2001, pour devenir membre, un Etat européen doit avoir une communauté scientifique solide dans le domaine des particules élémentaires, une industrie suffisamment développée pour pouvoir soumissionner pour les contrats du CERN et, enfin, une volonté politique de son gouvernement d'adhérer à une entreprise européenne commune dans le domaine des particules élémentaires; l'Etat-candidat doit également être doté d'un système politique garantissant la démocratie. Le fait de remplir ou non ces conditions fera l'objet d'une étude approfondie par le Conseil, lequel devra, comme par le passé, se prononcer à l'unanimité des Etats membres. L'adhésion ne pourra se faire qu'au bout d'une période préparatoire de quelques années, pendant laquelle l'Etat-candidat se familiarisera avec le CERN en tant qu'organisation internationale ou avec les obligations et devoirs attachés au statut d'Etat membre. Pendant ces années de transition, le candidat à l'adhésion aura une contribution financière réduite, mais n'aura pas le droit de vote.

Les relations de partenariat du CERN avec les Etats ne se limitent pas aux Etats membres ou candidats à le devenir. Dès sa création, le CERN avait prévu d'accueillir des observateurs auprès du Conseil, qui n'auraient pas le droit de vote mais pourraient assister aux séances et recevoir tous les documents officiels. Initialement, il s'agissait ou bien d'Etats ne souhaitant ou ne pouvant pas devenir Etats membres comme la Turquie, la Pologne et la Yougoslavie, ou bien d'organisations internationales comme l'UNESCO et les Communautés européennes. Pour la construction du plus grand accélérateur du monde, le Large hadron collider (LHC), le CERN a mobilisé des ressources dans le monde entier, en concluant des accords de coopération scientifique et technique bilatéraux avec à peu près soixante Etats, dont les Etats-Unis, le Japon, la Fédération de Russie, la Chine, l'Inde, le Pakistan... Chaque accord est différent et a fait l'objet d'une négociation au cas par cas. Il fut admis que les plus gros contributeurs, comme les Etats-Unis, le Japon, la Fédération de Russie se verraient accorder le

statut d'observateurs et pourraient même assister aux sessions restreintes du Conseil pour les points de l'ordre du jour consacrés au LHC, sans droit de vote, mais avec voix consultative.

Les accords bilatéraux ont été très efficaces et avaient la souplesse voulue pour établir des accords de coopération pour la construction du LHC. Cependant, ils n'offrent pas une réponse satisfaisante aux Etats qui n'appartiennent pas au cercle des candidats à l'adhésion mais qui souhaitent être engagés plus profondément dans les activités du CERN. Aussi le CERN a-t-il créé, en 2002, le statut d'Etat associé pour les pays non européens. Ce statut est proche de celui d'Etat membre. Un Etat associé doit satisfaire aux mêmes critères scientifiques, économiques et politiques qu'un Etat membre. Un Etat associé bénéficie de toutes les activités du CERN : les entreprises de l'Etat associé peuvent soumissionner pour des contrats du CERN ; les nationaux de l'Etat associé peuvent postuler aux postes à durée limitée. La contribution de l'Etat associé au financement des dépenses du CERN est réduite par rapport à la contribution qu'aurait payée l'associé s'il était Etat membre. Cela se justifie par le fait que les droits de l'Etat associé sont inférieurs à ceux des Etats membres. Un Etat associé participe au Conseil, peut demander la parole mais n'a pas le droit de vote. Il n'y a pas encore d'Etat candidat au statut d'associé, mais cela ne saurait tarder si l'évolution vers un projet mondial réalisé au CERN se poursuit.

Le retour industriel pour les Etats membres

La justification essentielle des recherches en physique des hautes énergies est de nature culturelle. La recherche sur la structure fondamentale de la matière enrichit notre culture et contribue à l'amélioration du niveau culturel de la société. A plus ou moins long terme, d'autres disciplines scientifiques comme la médecine, l'informatique et l'électronique bénéficient des outils et des techniques développés pour la physique des hautes énergies. A plus court terme, les Etats sont de plus en plus sensibles au retour industriel dans les programmes internationaux, c'est-à-dire au montant des contrats passés dans un Etat membre rapporté à la contribution de l'Etat membre. Il y a cinquante ans, ce paramètre n'était pas au cœur des préoccupations des fondateurs du CERN. La convention constitutive n'en dit pas un mot. L'ensemble des Etats membres a maintenant pris conscience de ce que les retours sur l'achat de bien d'équipements ou sur les services (maintenance, entretien, gardiennage, main-d'œuvre temporaire...) sont des plus favorables aux pays hôtes, la France et la Suisse.

Pour essayer d'un peu mieux équilibrer le retour industriel, le CERN s'est doté, en 1994, d'une nouvelle règle d'attribution des marchés, sans que cela ne coûte apparemment plus cher à l'Organisation. Chaque année, on calcule le facteur de retour industriel sur les trois années précédentes et on classe les Etats membres en deux catégories : ceux dont le retour industriel est

satisfaisant, les « *well balanced* », et ceux qui ne le sont pas, les « *poorly balanced* ». Pour chaque contrat, si l'offre du moins-disant, c'est-à-dire celle qui devrait être retenue, provient d'une entreprise d'un Etat dont le retour industriel est satisfaisant, alors les offres à niveau de coût supérieur, mais provenant d'entreprises d'Etats membres pour lesquels le retour industriel est considéré comme insatisfaisant, peuvent être renégociées pour s'aligner sur le moins-disant. Cette mesure a permis un certain rééquilibrage, mais les retours industriels restent cependant encore très favorables aux pays hôtes. Si le retour industriel sur biens d'équipements de haute technologie est si favorable à la France, c'est probablement grâce au haut niveau technologique que ses entreprises ont acquis en travaillant pour d'autres grands équipements comme le spatial et le nucléaire.

Le facteur de retour industriel n'est pas le seul élément qui permet de juger de l'impact économique d'un investissement dans un grand programme international. Les investissements dans des technologies de pointe sont un véritable transfert technologique et ont des retombées sans commune mesure avec l'investissement initial, mais difficiles à chiffrer. L'impact économique pour les pays hôtes doit aussi tenir compte des dépenses effectuées par le personnel et les visiteurs dans la région Genève et du Pays de Gex et des emplois créés autour du laboratoire. En 1994, une étude a montré que les activités du CERN génèrent environ 10 000 emplois dans la région frontalière (9). On le voit, le lieu où se construit un grand équipement international a un impact très important pour le pays hôte. Aussi au CERN les autres Etats membres ont-ils régulièrement exercé des pressions amicales sur les pays hôtes, la France et la Suisse, pour qu'ils fassent des contributions exceptionnelles qui s'ajoutent à leur quote-part.

LES COLLABORATIONS INTERNATIONALES D'EXPÉRIMENTATEURS

En physique des particules, ce sont avant tout les physiciens qui ont initié et continuellement entretenu la coopération internationale pour construire des accélérateurs de plus en plus puissants et pour les exploiter. A cause de la complexité et du coût des installations expérimentales qui étudient les collisions des particules produites par les accélérateurs au CERN ou dans d'autres grands accélérateurs, les équipes de physiciens se partagent aussi les travaux de construction des détecteurs et l'analyse des données. La taille des détecteurs a suivi la croissance de la taille des accélérateurs. Par exemple, le coût moyen des détecteurs, hors main-d'œuvre, installés auprès du collisionneur Large electron positon (LEP) au CERN dans les

(9) Jean-Pierre CLAVERANNE / Christophe PASCAL / Didier VINOT, *Impact économique du CERN*, Laboratoire Graphos CNRS, 1994, 64 p.

années 1980, se chiffrait à environ 100 millions de francs suisses. Les collaborations comportaient 300 à 400 physiciens venant d'une trentaine d'instituts issus d'une dizaine de pays différents. Le coût des nouveaux détecteurs auprès du futur Large hadron collider (LHC) au CERN se chiffre à environ 500 millions de francs suisses. Les collaborations internationales comportent plus de 1 000 physiciens venant de plus de 60 pays différents issus de tous les continents.

Les physiciens du monde entier se sont donné en 1980 des directives concernant l'utilisation des accélérateurs de recherche en physique des particules qu'ils soient nationaux ou internationaux (10). Elles indiquent que le choix des expériences et la priorité qui leur est accordée sont la responsabilité du laboratoire qui exploite l'installation. Les critères de sélection des expériences et de détermination des priorités sont le mérite scientifique, la faisabilité technique, les compétences du groupe de physiciens expérimentateurs et la disponibilité des ressources nécessaires. Les équipes de chercheurs extérieurs du monde entier peuvent se joindre à des équipes locales afin de constituer des groupes d'expérimentation qui proposeront et réaliseront des expériences auprès d'installations régionales; l'appartenance nationale ou institutionnelle des équipes ne joue aucun rôle dans la sélection des expériences ou l'octroi des priorités. Les laboratoires exploitant les machines ne doivent pas demander aux groupes d'expérimentation de participer aux frais de fonctionnement des accélérateurs ou aux frais d'exploitation des zones d'expérimentation.

Ces directives ont jusqu'à présent toujours été respectées par les laboratoires de physique des particules, qu'ils soient nationaux et internationaux. Cependant, les collaborations ne se font plus sans un protocole écrit appelé « *Memorandum of understanding* » (MOU). Ces accords écrits sont assez récents. Ils ont pris véritablement naissance en Europe pour les grandes expériences auprès des machines du CERN (collisionneur LEP) et du laboratoire DESY à Hambourg (collisionneur HERA), puis ensuite aux Etats-Unis pour des expériences qui utilisent les grands accélérateurs américains près de Chicago et Stanford. Le MOU est une convention réunissant en une collaboration internationale les représentants d'instituts de nationalités diverses, dont la proposition conjointe d'expérience a été approuvée par le comité d'expérience du laboratoire exploitant la machine. Il n'y a pas de règle précise définissant les comités d'expérience des laboratoires; ceux-ci comportent en général une majorité d'experts n'appartenant pas au laboratoire exploitant.

Le MOU définit le programme d'expériences à réaliser, les droits et les obligations techniques et financières de chaque participant. Les grandes collaborations internationales sont toutes organisées sur le même modèle : un

(10) « ICFA Guidelines for the Interregional Utilization of Major Regional Experimental Facilities for High Energy Particle Physics Research », 9 juillet 1980.

comité exécutif d'une dizaine de membres, un comité des finances, un comité technique et un parlement, le comité de collaboration, qui comporte un membre par institut. Là aussi, la règle est « un institut, une voix ». Le laboratoire exploitant l'accélérateur y apparaît en une double qualité : à la fois en tant qu'institut scientifique participant à l'expérience – il est alors sur un pied d'égalité avec les autres instituts participants – et en tant que laboratoire-hôte de l'expérience qui s'effectue sur ces accélérateurs. Le MOU est signé par les directeurs des instituts ou bien par leur agence de financement. Ce n'est pas un accord intergouvernemental ; la collaboration créée par le MOU n'a pas de personnalité juridique propre : elle constitue un partenariat de fait, qui vit sous le parapluie juridique du laboratoire-hôte, tout en jouissant d'une réelle autonomie de fonctionnement. Le MOU a une valeur juridique souple par la volonté même de ses partenaires. Ce mode d'organisation internationale a très bien fonctionné pour les expériences de 400 physiciens et tout laisse à penser qu'il en sera de même pour les expériences de nouvelle génération.

Les prises de données se font sur le site même de l'expérience, mais les données sont la propriété de toute la collaboration. Elles sont analysées à l'aide de réseaux informatiques de plus en plus complexes. C'est ainsi que le *World Wide Web* fut inventé au CERN en 1990 pour aider les physiciens du monde entier à communiquer et travailler à distance sur l'analyse des données récoltées dans les expériences au CERN. Les physiciens des particules élémentaires sont aujourd'hui particulièrement actifs dans les grands programmes internationaux de développement des systèmes d'informatique partagée, que l'on appelle Grille (Grid). Le but est de mutualiser la puissance de calcul et la capacité de stockage réparties entre tous les laboratoires participant à une même expérience. C'est un problème très complexe. L'ambition est d'utiliser ce nouveau système dès 2007 pour analyser les données du LHC.

LES COMITÉS INTERNATIONAUX DE COORDINATION DE LA PHYSIQUE DES HAUTES ENERGIES

Nous avons vu que les mécanismes de coordination internationale comportent deux volets bien distincts : le regroupement des forces et des ressources pour construire un nouvel accélérateur, mécanisme qui a par exemple abouti à la création du CERN ; la constitution de collaborations internationales de physiciens pour construire les détecteurs géants qui mesurent les résultats des collisions de particules produites par les accélérateurs du CERN et d'autres grands laboratoires. Les progrès de la physique des hautes énergies sont jalonnés par la création d'accélérateurs toujours plus puissants. Le choix du site où sera implanté un nouvel accélérateur fait l'objet de nombreuses discussions entre les physiciens et les gouvernements. Les

retombées scientifiques et économiques sont importantes et confèrent au pays hôte un prestige international. En Europe, tous les accélérateurs de recherche ne sont pas uniquement construits au CERN. Certains pays, comme la France dans les années 1960, sous l'impulsion du général de Gaulle, et plus récemment l'Allemagne, dans les années 1980, ont eu la volonté de construire une machine nationale. Le choix des paramètres ou du type de machine fait toujours l'objet de débats passionnés entre les physiciens. Pour contribuer à la coordination du programme de physique des hautes énergies, les physiciens européens ont créé en 1963 le Comité européen sur les futurs accélérateurs (ECFA). Les physiciens membres du comité proviennent des pays membres du CERN. L'ECFA exerce un rôle consultatif auprès de la direction du CERN et de son Conseil, auprès du laboratoire DESY à Hambourg et de son conseil scientifique, ainsi qu'auprès d'autres organisations nationales et internationales. Toutes les grandes installations qui ont été construites en Europe depuis 1963 ont donné lieu à des débats au sein de l'ECFA. L'ECFA a soutenu la construction dans les années 1980 du collisionneur électron-positron LEP au CERN et du collisionneur électron-proton HERA à DESY et, plus récemment, du collisionneur proton-proton LHC au CERN.

Aujourd'hui, la coopération ne se limite plus à l'Europe. La nécessité de concertation mondiale a été à l'origine de la création du Comité international sur les futurs accélérateurs en 1977. Les membres de ce comité sont choisis à un échelon régional. Reflet de l'organisation politique du monde tel qu'il était à l'époque, l'ICFA comptait les membres suivants : les Etats-Unis (3), l'Europe de l'Ouest (3), la Russie (3) et les membres du JINR de Dubna (3) à l'exception de la Russie, le Japon (1), la Chine (1) et une quatrième région (1). Depuis 1995, la représentation des Russes a été fortement réduite tandis que celle du Japon et de la quatrième région a été augmentée. Le but recherché par l'ICFA est de faciliter la communication et la compréhension entre les spécialistes mondiaux de la physique des hautes énergies. Il n'existe pas d'autres lieux permettant aux directeurs des laboratoires de se rencontrer et d'échanger librement leurs points de vue. L'ICFA est quelquefois considéré comme un organisme sans réel pouvoir. L'internationalisation des projets HERA à Hambourg et LHC au CERN ne s'est pas faite sous les auspices de l'ICFA, mais à l'initiative des directeurs de ces laboratoires. L'ICFA n'est cependant pas dépourvu d'une certaine influence. Un bon exemple se trouve dans ses directives sur l'utilisation des installations internationales et leur ouverture aux physiciens du monde entier. Aujourd'hui, l'ICFA est au cœur des discussions sur la machine mondiale qui pourrait être construite après le LHC.

VERS UN PROJET MONDIAL ?

Depuis 2001, un consensus a émergé dans la communauté scientifique de la physique des hautes énergies : la future machine sera un collisionneur linéaire électron-positon et il n'y en aura qu'un seul qui sera construit dans le monde. Jusqu'à présent, le CERN, DESY et les grands laboratoires américains et japonais de physique des hautes énergies ont toujours été en mesure de préparer leur propre avenir scientifique et technique en ayant un nouveau projet prêt à prendre la suite de son prédécesseur. A compter d'aujourd'hui, cela pourrait être différent : le futur projet serait très probablement un projet mondial, construit dans un cadre international qui irait bien au-delà du modèle LHC. C'est une situation nouvelle qui a fait l'objet de nombreux débats entre les physiciens dans chaque région et dans les groupes de travail de l'ICFA, tout en y associant les représentants des gouvernements au sein du Forum Mégascience de l'OCDE (11) et dans le groupe de travail du Global science forum de l'OCDE.

Une des hypothèses retenues serait une gestion collaborative du projet par les représentants de trois grandes régions : Amérique, Asie et Europe. Il n'y aurait pas création d'institutions lourdes, mais partage des responsabilités et renonciation du laboratoire-hôte à l'autorité qu'il exerce actuellement sur le projet. Cela pose naturellement de nombreuses questions sur le rôle du laboratoire-hôte et sur la direction du projet. Chaque région aurait son propre mode d'organisation. Si le CERN apparaît comme le représentant naturel de l'Europe, il n'y a pas unanimité en Europe sur cette question.

Une autre hypothèse sur l'organisation du projet serait une mondialisation du CERN par une ouverture aux Etats non européens. Ce ne serait pas sans créer une certaine dissymétrie entre l'Europe et les autres régions du monde. Ce modèle d'organisation ne serait probablement retenu que si la machine était construite près de Genève.

En résumé, le modèle d'organisation du projet est à inventer. Il faudra de l'« *imagination juridique* » (12). Le choix du site, sur lequel la nouvelle machine sera construite, aura un grand rôle sur le mode d'organisation et le statut du projet.

CONCLUSION

Depuis cinquante ans, la physique des particules peut être considérée comme un modèle de coopération internationale : l'utilisation en commun

(11) *Physique des Particules*, Le forum Mégascience de l'OCDE (1995) et *Rapport sur les très grands équipements de l'OCDE*, OCDE/GD (95) 80.

(12) Jean-Marie DUFOUR, *GRAVITON*, *Périodique de libre expression du personnel du CERN*, n° 26, septembre 2003, p. 32.

des installations existantes a été la règle, la construction et la planification de nouvelles installations ont évolué d'un cadre national à un cadre international. Le succès du CERN est universellement reconnu.

La concertation internationale entre les grandes régions a permis de proposer un programme scientifique et technique très équilibré. La publication et la diffusion des résultats scientifiques sont entièrement libres. La coopération entre physiciens a favorisé une meilleure compréhension entre les nations. Même à l'époque de la Guerre froide, nombreux et fréquents furent les échanges de physiciens issus de nations à régime politique très différents.

La progression des connaissances en physique des particules élémentaires a donné naissance à l'élaboration d'un modèle théorique remarquable, dont la validité a été vérifiée avec une excellente précision. Les physiciens sont aujourd'hui convaincus qu'un nouveau domaine de physique des hautes énergies va bientôt s'ouvrir. La plus grande partie de la matière qui constitue notre univers est encore invisible à nos yeux et à nos instruments. Sa nature nous est complètement inconnue. Pour explorer cette nouvelle physique, la taille et le coût croissant des nouveaux accélérateurs exigeront un élargissement des modèles de coopération existants, qui évolueront vers la mondialisation. Les succès passés permettent d'entrevoir l'évolution future avec espoir et confiance.