L'AVENIR EUROPEEN DU GANIL

Avis

**du Conseil Économique et Social Régional de Basse-Normandie
adopté à l'unanimité le 16 décembre 2002**

L'AVENIR EUROPEEN DU GANIL

Onze années après l'étude relative *aux développements scientifiques autour du GANIL : bilan et perspectives*¹, le CESR de Basse-Normandie est amené à réaliser, de nouveau sur saisine du Président du Conseil Régional, un rapport sur *l'avenir européen du Grand Accélérateur National d'Ions Lourds*.

Depuis cette première étude, le Très Grand Équipement a fortement évolué tant en termes d'équipements qu'en matière de thématiques de recherches, suivant en cela les évolutions scientifiques autour de la connaissance du noyau.

L'installation de SPIRAL (Système de Production d'Ions RAdioactifs en Ligne) au sein du GANIL, opérationnel depuis septembre 2001, constitue une étape capitale et permet au très grand équipement d'être aujourd'hui le plus performant au monde dans son domaine.

Mais, pour conserver le bénéfice de cette avance technologique à moyen et long termes, de nouvelles évolutions apparaissent indispensables et vont nécessiter un soutien des autorités nationales et européennes. La concrétisation du projet SPIRAL II et le positionnement du GANIL pour l'accueil, à plus longue échéance, d'un très grand équipement de seconde génération de niveau européen (EURISOL) s'inscrivent tout à fait dans cette perspective.

C'est la raison pour laquelle, dans un courrier en date du 18 décembre 2001, le Président du Conseil Régional a demandé au CESR d'établir un argumentaire justifiant la légitimité en France de la candidature de GANIL pour accueillir en son sein le futur grand projet européen et ceci, notamment dans la perspective de la tenue d'un prochain Comité Interministériel d'Aménagement et de Développement du Territoire (CIADT) qui doit, conformément à des engagements antérieurs², arrêter des mesures en faveur de la Basse-Normandie afin de prendre en considération les incidences négatives engendrées par la disparition de l'entreprise Moulinex et d'affirmer ainsi une démarche volontariste de développement régional pour l'avenir.

¹ Rapport et Avis rapportés au CESR par Claude DETRAZ, 19 avril 1991.

² Lors du CIADT de Limoges du 9 juillet 2001

GANIL : Un équipement de recherche fondamentale de renommée mondiale

Décidé en 1975 et entré en exploitation huit ans plus tard, le Grand Accélérateur National d'Ions Lourds est un très grand équipement commun au CNRS et au CEA associés à parts égales dans un Groupement d'Intérêt Économique.

● La vocation première du GANIL est de contribuer à l'avancement des connaissances dans le domaine de la physique nucléaire en offrant à la communauté scientifique les moyens de conduire des recherches fondamentales.

Les expériences qui y sont menées depuis l'origine ont d'ailleurs largement contribué à de nombreuses avancées dans la compréhension de la structure du noyau atomique³ et des systèmes nucléaires fortement perturbés.

En complément de sa forte activité expérimentale, le GANIL a développé en son sein un groupe théorique qui a pris une place prépondérante dans le paysage fondamental français.

L'équipement SPIRAL, mis en service en septembre 2001 et dont le projet a été piloté par un comité scientifique international, constitue un outil aujourd'hui unique en Europe en physique nucléaire. Il ouvre des perspectives très prometteuses et renforce encore davantage le rôle de GANIL au sein de la communauté scientifique mondiale.

SPIRAL permet en effet de produire des ions radioactifs dits "exotiques" de courte durée de vie et n'existant pas sur Terre, de les accélérer et d'en constituer ainsi un faisceau pour les projeter sur une cible. Grâce à cet équipement, les physiciens devraient accumuler des données nouvelles sur quelques uns des milliers de noyaux qui peuplent l'univers.

Ces données sont particulièrement importantes car, comme l'ont déjà montré les quelques expériences réalisées dans ce domaine, l'exploration des noyaux exotiques réserve bien des surprises qui obligent les chercheurs à remettre souvent en cause la vision du noyau de l'atome, vision bâtie depuis un siècle sur l'observation des seuls noyaux stables. Notons également que la connaissance des propriétés de ces noyaux exotiques est indispensable à une bonne description de la nucléosynthèse⁴.

³ Notons que plus de 100 noyaux ont été découverts au GANIL.

⁴ La nucléosynthèse est l'ensemble des processus qui conduisent à l'apparition des éléments constituant la matière de l'univers. Les premiers noyaux (principalement hydrogène mais également hélium) ont donc émergé du Big-Bang voici quelque 15 milliards d'années et servent de combustible aux réacteurs stellaires. C'est en effet au cœur des étoiles et lors de leur explosion que sont transmutés les éléments des plus légers aux plus lourds. Une étoile moyenne comme notre Soleil "brûle" son hydrogène et utilise les "cendres" de cette combustion pour fabriquer des atomes plus lourds comme l'hélium jusqu'au carbone seulement. Les éléments plus lourds jusqu'à l'uranium sont ensuite fabriqués lors de phénomènes violents comme les explosions de *supernovae*.

Les faisceaux de noyaux exotiques ainsi obtenus permettent également une première exploration en termes de mélange de protons et de neutrons, de la matière chaude et dense. L'intérêt de ces études est incontestable pour comprendre et mesurer les propriétés de la matière à très haute température et densité et donc, pour mettre à l'épreuve la description du noyau.

Par ailleurs, la connaissance des noyaux exotiques joue un rôle essentiel dans la compréhension du Cosmos en donnant accès à un état de la matière qui doit exister dans l'univers au cœur des étoiles en fin de vie (*supernovæ* et étoiles à neutrons).

On notera qu'en Europe, les deux principales installations produisant des faisceaux d'isotopes rares sont le GANIL en France et GSI⁵ en Allemagne.

● La deuxième mission du GANIL est le développement d'applications des ions lourds à d'autres domaines de la recherche fondamentale, notamment la physique atomique, la physique de la matière condensée, la chimie sous rayonnement et la radiobiologie. En effet, 10 % du temps du faisceau principal sont consacrés à ces activités et la possibilité d'utiliser, en parallèle, un second faisceau dans la salle à moyenne énergie (SME) permet à ces autres domaines scientifiques de bénéficier d'environ 2 000 heures de faisceau par an.

Dès l'origine, l'utilisation des faisceaux du GANIL par d'autres disciplines a été encouragée. Cela s'est traduit en 1982 par la création du CIRIL (aujourd'hui Centre Interdisciplinaire de Recherche Ions-Lasers), laboratoire commun CEA-CNRS-Université.

Les différentes thématiques s'inscrivant dans ce cadre concernent les collisions ion - atome, l'interaction ion - matériau, le domaine d'application des polymères, la radiolyse de l'eau ou l'effet des particules ionisantes sur les cellules vivantes.

● Le succès du GANIL tient non seulement à la qualité des faisceaux qu'il délivre mais également à la richesse des équipements expérimentaux qu'il met à la disposition de la communauté scientifique internationale. Pour preuve de cette reconnaissance, GANIL enregistre aujourd'hui cinq à six fois plus de demandes d'expériences du monde entier que de temps de faisceau disponible pour les accueillir ! Certains laboratoires se voient ainsi contraints de patienter parfois plusieurs années avant d'y mener une expérience.

La communauté autour du GANIL, toutes activités confondues (physique nucléaire et autres recherches), est forte de quelque 700 utilisateurs dont 40% d'étrangers appartenant à 130 laboratoires et provenant de 30 pays différents. La plupart des programmes expérimentaux et théoriques exigent des collaborations étroites avec de grands laboratoires internationaux situés en Allemagne, en Russie, aux États-Unis et au Japon.

⁵ GSI : Gesellschaft für Schwerionenforschung à Darmstadt.

Le GANIL se distingue tout particulièrement au sein de la communauté scientifique mondiale par son rôle crucial dans la propagation des connaissances sur ses domaines de recherche. Depuis l'origine, la production scientifique du GANIL s'élève ainsi à plus de 1400 publications dans des revues scientifiques à comité de lecture, sans compter les très nombreuses contributions aux conférences dans lesquelles les physiciens présentent les résultats du Très Grand Équipement. Il a en outre organisé à ce jour une douzaine de Conférences Internationales, 30 Ateliers nationaux et internationaux. Par ailleurs, 27 Prix scientifiques ont été décernés pour des travaux effectués au GANIL.

Sur le plan de la formation, le GANIL contribue largement à l'enseignement de la physique nucléaire avec une moyenne de 20 à 30 thésards et post-docs et quelque 60 stagiaires par an. À ce propos, la formation par la recherche s'exerce tant à l'extérieur du laboratoire par des enseignements spécialisés (école d'ingénieurs, université) qu'en son sein grâce à l'accueil permanent de stagiaires, doctorants et post-docs. Les travaux scientifiques élaborés au GANIL ont donné lieu depuis l'origine à 140 thèses de doctorat dans différents laboratoires français concernant les spécialités suivantes : physique nucléaire, physique des ions rapides, physique des accélérateurs, informatique... .

La recherche appliquée auprès du GANIL et son ouverture vers le monde industriel

Le GANIL offre toute une palette de faisceaux d'ions lourds dans une large gamme d'énergie intéressant directement la recherche appliquée. Ces faisceaux permettent en effet la simulation en laboratoire de l'endommagement des matériaux, que ce soit ceux concernant le cycle du combustible, des éléments de structure d'un réacteur jusqu'au stockage des déchets ou encore l'électronique spatiale.

Les domaines d'applications incluent de nombreuses thématiques qui interviennent dans d'importants défis posés à nos sociétés comme la gestion des déchets radioactifs, le vieillissement des centrales nucléaires, la tenue des composants électroniques aux rayonnements cosmiques ou encore la radiothérapie par particules lourdes.

Pour encourager la recherche appliquée et l'insérer dans le pôle aujourd'hui interrégional « Interactions Lons-Matière », le GANIL et le CIRIL ont créé le Groupe des Applications de la Recherche avec des Ions (GARI) qui a pour vocation première de favoriser le développement de la recherche appliquée auprès du GANIL. Dès le milieu des années 80, il a été cherché la meilleure manière de valoriser les atouts du Très Grand Équipement et la première voie choisie a été de tenter une ouverture vers le monde industriel.

Ces dernières années, le GANIL, en collaboration avec le CIRIL, a mis en place plusieurs équipements qui ont renforcé son importance pour ces recherches. Ce sont les lignes de basse énergie (LIMBE) pour la physique atomique, le laboratoire de radiobiologie et, dernièrement, IRRSUD (IRRadiation SUD qui doit entrer en fonctionnement fin 2002), nouvelle ligne utilisant les faisceaux de basse énergie du

GANIL dédiée aux applications industrielles. Il convient de noter que cet outil ouvre des perspectives pour la modification des surfaces ou encore la simulation et le vieillissement sous irradiation des matériaux utilisés dans l'industrie électro-nucléaire par exemple.

Le CESR se réjouit de ces développements prometteurs tant les trois équipements précités, actuellement uniques en France, jouent un rôle important dans la structuration et le dynamisme des communautés scientifiques concernées.

Trouver des applications industrielles directes d'un Très Grand Équipement dédié principalement à la recherche fondamentale est, par nature, complexe. La valorisation des savoir-faire et des moyens du GANIL a cependant donné lieu à des transferts de technologie par essaimage comme PANTECHNIK, société spécialisée dans la fabrication et la commercialisation de certains équipements et de sources d'ions. Par ailleurs, le GANIL loue du temps de faisceau à des industriels pour le test de matériaux divers, pour simuler, par exemple, le rayonnement cosmique auquel sont soumis les composants électroniques embarqués à bord des satellites artificiels et stations orbitales. Les clients sont de grandes firmes nationales ou internationales.

GANIL en Basse-Normandie : un exemple d'implantation réussie en région

Vingt ans après son entrée en exploitation, le GANIL est considéré aujourd'hui comme une implantation réussie d'un Très Grand Équipement en région et, à ce titre, il a valeur d'exemplarité au niveau national. Au départ, la construction à Caen du grand accélérateur constitua un véritable pari sur l'avenir qui relevait d'une volonté politique forte de doter la Basse-Normandie d'un outil de recherche structurant et répondant, par là même, à un enjeu de développement économique.

Depuis lors, le soutien de la Région à ce Très Grand Équipement n'a jamais failli et nombreux dans la communauté scientifique reconnaissent qu'il existe peu d'exemples similaires où un équipement de recherche fondamentale fait l'objet d'un intérêt régional aussi marqué.

La Région Basse-Normandie constitue en effet depuis l'origine un partenaire décisif pour le GANIL et, au fil du temps, elle a su attribuer des moyens importants pour soutenir son évolution en termes d'équipements. Tel fut encore le cas par exemple pour SPIRAL qui a nécessité un investissement d'un peu plus de 18 millions d'euros, cofinancé à parts égales par le CEA, le CNRS et le Conseil Régional pour un coût complet, incluant les salaires, de l'ordre de 36 millions d'euros.

Depuis lors, la Région poursuit son soutien pour ce qui concerne les investissements du laboratoire via notamment sa politique en faveur du pôle de recherche structurant "interaction ion-matière" réaffirmée à l'occasion du Plan d'Actions Régional 2000-2006 (et dont le IV^{ème} Contrat de Plan fait mention) qui se fixe d'ailleurs comme objectif de permettre à ce pôle d'atteindre une dimension européenne pluridisciplinaire forte.

- GANIL : un acteur dans l'économie régionale

Évaluer précisément les retombées directes et indirectes du GANIL en région n'est pas chose aisée et nécessiterait une étude approfondie à part entière. On peut signaler toutefois aujourd'hui que le GANIL fait appel à des prestataires de la région pour près de 45 % de ses commandes. Par ailleurs, en 2000, sur un total de dépenses totales estimées à 22,3 millions d'euros, les seuls salaires des personnels du GANIL étaient estimés à 14,2 millions d'euros⁶.

À ce jour, l'effectif permanent au GANIL est de 236 personnes dont 134 dépendant du CNRS, 101 relevant du CEA et une de l'université. Ajoutons-y un nombre important de physiciens extérieurs, la plupart du temps étrangers qui se font ensuite, ambassadeurs de la région. Rappelons également que le GANIL accueille chaque année en moyenne 20 à 30 thésards et post-docs.

- GANIL : un catalyseur pour la recherche en Basse-Normandie

C'est indiscutablement sur le plan de la recherche, au-delà même de son domaine de prédilection, que le GANIL a joué un rôle de catalyseur pour le développement de la région caennaise.

Le paysage scientifique de la Basse-Normandie s'est profondément transformé au cours des vingt dernières années, GANIL y a largement contribué en permettant la concrétisation en région d'un pôle d'excellence de recherche de niveau européen voire mondial.

Il a notamment contribué au développement scientifique et technologique du plateau nord de Caen qui regroupe :

→ au sein du campus Jules HOROWITZ auquel le GANIL appartient, CYCERON (Centre de Recherche de Tomographie par Émissions de Positons) dont il est à l'origine en raison des compétences croisées avec les ingénieurs des cyclotrons du grand accélérateur. Il a ensuite permis de développer une démarche scientifique interdisciplinaire entre différents organismes au-delà de la seule physique nucléaire et dont le CIRIL est la concrétisation. Cette collaboration a ainsi permis de développer de grandes compétences dans la conception des détecteurs de rayonnements, des systèmes d'acquisition de données et de leur traitement informatique, compétences qui permettent aujourd'hui au site scientifique et technologique caennais d'être reconnu sur le plan de l'imagerie. Ce domaine fait d'ailleurs l'objet, avec les Technologies de l'Information et de la Communication, d'un pôle scientifique et technologique inscrit au IV^{ème} Contrat de Plan État-Région. De tels développements technologiques de pointe ont (ou auront) indéniablement des retombées au niveau des applications en imagerie industrielle et médicale.

⁶ Source : Office Parlementaire d'Évaluation des Choix Scientifiques et Technologiques selon la Direction de la Recherche, Ministère de la Recherche.

→ sur le campus scientifique, l'ISMRA (Institut des Sciences de la Matière et du Rayonnement) qui a des relations privilégiées avec le grand accélérateur via, en particulier le CIRIL, le LERMAT (Laboratoire d'Études et de Recherches sur les Matériaux) ou le LPC (Laboratoire de Physique Corpusculaire), ce dernier participant directement à la mise au point, à la réalisation et au dépouillement d'expériences menées au GANIL sur les propriétés macroscopiques de la matière nucléaire comme sur la structure du noyau.

Ce développement spectaculaire a, dans le même temps, favorisé l'émergence de la Technopole SYNERGIA, des parcs d'activités technologiques (Parc d'Activités Technologiques de la Folie-Couvrechef - ACTIS - à Caen et CITIS à Hérouville-Saint-Clair).

C'est grâce à cet élargissement des champs de compétences scientifiques qu'un pôle scientifique pluridisciplinaire « Interaction Ion-Matière autour du GANIL » a été mis en place, permettant d'accentuer les synergies entre les différents domaines de recherche et de mettre ainsi en valeur le rôle fédérateur du Très Grand Équipement.

En matière de transferts de technologie, le GANIL est partie prenante en Basse-Normandie à la fois du Réseau de Diffusion Technologique (RDT) et du réseau GRAVIR (Groupe Régional d'Action pour la Valorisation Industrielle de la Recherche). Depuis 2000, le GANIL est en outre avec l'Université de Caen Basse-Normandie, l'Institut des Sciences de la Matière et du Rayonnement (ISMRA) membre fondateur de l'association « Normandie Incubation » qui a pour but de détecter et d'accompagner les porteurs de projets innovants nécessitant un développement technologique à mener avec l'un des laboratoires membres de l'association.

Concernant les recherches appliquées, et plus particulièrement en matière de radiobiologie, il convient de reconnaître que les collaborations entre le GANIL et le milieu médical en Basse-Normandie sont, jusqu'à présent, demeurées en deçà des espérances malgré l'existence, localement, d'un pôle de compétences reconnues dans le domaine biomédical constitué de CYCERON, du CHU et du Centre de Lutte contre le Cancer François BACLESSE. L'ouverture depuis 1999 d'une structure d'accueil des biologistes près du GANIL complétée récemment par un laboratoire scientifique (qui a nécessité la construction d'un nouveau bâtiment largement soutenu par le Conseil Régional) ouvre de nouvelles perspectives. C'est pourquoi le CESR compte sur une véritable coopération entre le milieu médical et les équipes de GANIL, rappelant que la recherche contre le cancer constitue l'un des grands chantiers que s'est fixé le Président de la République, Jacques CHIRAC au cours de son quinquennat.

En résumé, la réalisation du GANIL a indiscutablement contribué à la notoriété du pôle scientifique caennais aux plans national et même international et, par conséquent, a donné à la Basse-Normandie une image très forte dans les domaines de la recherche et de la technologie. Les colloques et ateliers souvent organisés

dans le cadre de coopérations internationales autour du GANIL renforcent de surcroît cette reconnaissance⁷.

Les retombées indirectes sont, on le voit, notables pour la région mais passent le plus souvent inaperçues aujourd'hui tant certaines applications sont désormais inscrites dans la vie quotidienne. N'est-ce pas grâce au GANIL si, dès 1991, la Basse-Normandie a mis en œuvre le réseau régional à haut débit "VIKMAN", lui-même raccordé au Réseau National de la Technologie, de l'Enseignement et de la Recherche (RENATER) ? Pour preuve, GANIL héberge toujours aujourd'hui le nœud régional de VIKMAN, interconnectant le réseau régional à RENATER.

Concernant l'information, il faut rappeler la mission de vulgarisation scientifique du GANIL dont l'objectif est de faire partager avec le plus grand nombre les résultats des recherches qui sont menés en son sein.

• GANIL : un outil de diffusion au service de la culture scientifique.

Au-delà du rôle de GANIL en matière de formations supérieures -du fait des relations privilégiées avec l'ISMRA et l'Université-, le Très Grand Équipement est investi d'une mission de vulgarisation scientifique qui lui a d'ailleurs valu plusieurs prix et récompenses. Dans la perspective de faire partager avec le plus grand nombre les résultats de la recherche, il constitue un membre actif du réseau bas-normand CCSTI-Relais d'Sciences présidé d'ailleurs actuellement par Philippe CHOMAZ, physicien-théoricien au GANIL.

L'éventail d'actions menées dans ce cadre, le partenariat suivi avec les instances pédagogiques et sa forte implication dans les activités de culture scientifique, tant nationales que régionales, ont valu au GANIL de recevoir en 1997 le premier prix de culture scientifique décerné par le Ministère de la Recherche et de l'Enseignement. À ce propos, les opérations portes ouvertes/Science en Fête ont accueilli entre 1983 et 2001, 21 600 personnes, les portes ouvertes dédiées aux lycéens ont impliqué au total sur la même période 125 établissements de l'Académie de Caen et 16 200 lycéens ainsi que les visites sur rendez-vous qui ont concerné 8 000 personnes.

Le GANIL mène également des actions spécifiques destinées au grand public, aux jeunes et aux enseignants à travers des ateliers scientifiques, des conférences dans les lycées, des concours, expositions.... Enfin, parmi les actions ponctuelles grand public interviennent notamment des expositions dont l'une, intitulée "Voyage au cœur de la matière" à l'Hôtel de Ville de Caen en 1998 avait rencontré un vif succès.

Le CESR encourage la poursuite et même l'intensification de ces actions d'information et de communication qui pourraient être itinérantes sur l'ensemble du territoire bas-normand. Ces initiatives permettent en effet, au-delà de leur rôle

⁷ Citons par exemple la tenue en septembre 2002 à Caen de la Conférence Internationale HCI-2002 (pour Highly Charged Ions) sur la Physique des ions multi-Chargés. Cette manifestation a fait office de forum international majeur dans le domaine puisqu'elle a réuni près de 300 physiciens provenant de 36 pays différents soit près du double de la précédente édition qui s'est tenue à Berkeley en 2000.

vulgarisateur, d'associer étroitement les bas-normands au développement du Très Grand Équipement. Il convient de rappeler à cet égard la forte mobilisation de la population bas-normande pour l'accueil en Basse-Normandie du Synchrotron SOLEIL avec l'envoi, en 2000, de 70 000 cartes postales-pétitions.

• GANIL : un vecteur d'image forte pour la capitale régionale et pour la recherche bas-normande.

Élément indiscutable du développement local, le GANIL a aussi contribué à faire de Caen un pôle de recherche aujourd'hui reconnu au-delà des frontières nationales, lui conférant par là même une image hautement valorisante.

Grâce aux recherches et découvertes du GANIL, le nom de Caen figure désormais dans des publications scientifiques spécialisées ou grand public à l'échelon international, ce qui contribue à la renommée de la capitale bas-normande. Pour le CESR, il conviendrait, localement, de davantage valoriser cet atout dans les messages de promotion de la capitale régionale délivrés vers l'extérieur.

Cette image actuelle de pôle de recherche dynamique et largement ouvert à l'international, la capitale régionale la doit beaucoup au Grand Accélérateur. Ce dernier a en effet permis de catalyser localement des équipements et des compétences allant au-delà de son propre domaine d'activités.

QUELS DÉVELOPPEMENTS À MOYEN ET LONG TERMES POUR LE GANIL ?

Au niveau scientifique, outre quelques évolutions toujours possibles à attendre dans les choix futurs de thématiques en matière de physique nucléaire, les experts français estiment aujourd'hui que l'étude du noyau et des interactions intégrant une composante « astrophysique » forte (genèse des éléments) va se développer à l'avenir et qu'ainsi, le GANIL peut jouer un rôle important dans ces axes de recherches.

À terme, le Très Grand Équipement peut permettre à la France de conserver la place qu'elle occupe aujourd'hui dans le domaine de la physique nucléaire, pourvu que l'on tire profit des développements à venir dans le domaine des accélérateurs de haute intensité qui conditionnent, pour le futur, le succès des installations de seconde génération.

Au-delà des coopérations existantes, il paraît clair que la compétition existe entre pays et risque de s'exacerber au niveau européen dans la mesure où le nombre des équipements va sans doute diminuer à terme. Autrement dit, pour le GANIL, l'avenir sera européen ou il ne sera pas.

Depuis longtemps déjà, l'ouverture européenne de GANIL, du fait de l'importance de la communauté des utilisateurs, est forte, structurée et s'affirme à travers notamment des soutiens financiers significatifs : des équipements expérimentaux d'envergure (EXOGAM, VAMOS et LISE 2000 développés pour SPIRAL) ont été construits grâce à un apport financier de laboratoires européens à hauteur de 40 %. Rappelons que GANIL est reconnu comme Grande Installation Européenne depuis 1995 et ce, dans le cadre du 5^{ème} Programme Cadre de la Recherche et Développement (PCRD) européen,

La dimension européenne de GANIL se trouve enfin renforcée aujourd'hui du fait du rôle du GANIL dans la coordination du programme *European Isotope Separation On-Line* (EURISOL). Ce programme rassemble de grands laboratoires européens de physique nucléaire qui étudient le projet d'une installation de seconde génération pour la production et l'accélération de faisceaux radioactifs à l'horizon 2010-2015.

Mais, pour le moyen terme (2007-2008), le développement envisagé est une extension de SPIRAL (phase intermédiaire appelée SPIRAL II) qui, pour se réaliser, nécessitera des collaborations européennes.

Une phase intermédiaire incontournable : le projet SPIRAL II

L'ensemble SPIRAL qui vient de démarrer au GANIL est une machine de première génération particulièrement bien adaptée à la production et à l'accélération de noyaux radioactifs légers et moyennement lourds (de l'hélium au krypton) à des énergies de 2 à 25 MeV par nucléon.

Dès l'origine du projet SPIRAL, une seconde phase avait été envisagée afin d'étendre la gamme des faisceaux produits vers les noyaux lourds.

La production de faisceaux d'isotopes rares, riches en neutrons de masses moyennes à lourdes permet d'aborder toute une gamme de problématiques particulièrement intéressantes, à condition que l'intensité des faisceaux produits soit suffisante. De tels isotopes peuvent être produits par un faisceau de deutons faisant fissionner une cible d'uranium. Le projet SPIRAL II se propose d'atteindre ainsi *a minima* 10^{13} fissions par seconde.

Diverses options ont été très minutieusement examinées tout d'abord dans le cadre d'une RTD (Research Technological Development) européenne (SPIRAL phase II) coordonnée par le GANIL et qui rassemblait un certain nombre de laboratoires français, finlandais ou belge.

Un groupe de travail mis en place en octobre 2000 a remis, fin 2001, un Avant Projet Sommaire de SPIRAL II.

Le principe de cet équipement consiste en un accélérateur dédié, LINAG qui produit un faisceau de deutons de très forte intensité et d'une énergie de 40 MeV qui va se fracasser sur une cible de carbone et produire un flux de neutrons lesquels, font fissionner une cible d'uranium. Les noyaux rares ainsi produits sont triés et

amenés, soit vers une salle de basse énergie, soit vers le cyclotron CIME déjà en fonctionnement dans le cadre de SPIRAL pour être post-accélérés vers les salles d'expériences du GANIL. Dans une étape ultérieure il pourrait être envisagé d'injecter ces noyaux rares dans les cyclotrons existants (C0, CSS1 et CSS2) du GANIL pour les amener à des énergies plus élevées.

Notons que ce schéma permet d'envisager plusieurs faisceaux en parallèle. On peut, par exemple, offrir des faisceaux de produits de fission à basse énergie avec SPIRAL II pendant que GANIL et SPIRAL fournissent des faisceaux stables ou des faisceaux exotiques légers. Cet aspect « multi-faisceaux » est primordial et augmentera le temps de faisceau disponible.

L'accélérateur primaire permettant de former les faisceaux de deutons pourrait également fournir, par la simple adjonction d'une source d'ions différente - une des sources du GANIL actuel, dans un premier temps - des faisceaux stables d'ions lourds de très haute intensité. Des réactions de fusion-évaporation avec des sections efficaces très faibles pourraient être étudiées, comme la formation de noyaux super lourds ou de noyaux proches de la limite de stabilité.

Il convient en outre d'insister qu'avec SPIRAL II, les activités pluridisciplinaires du GANIL ainsi que l'utilisation des faisceaux d'ions pour des recherches appliquées seraient fortement renforcées. Ainsi, l'utilisation du flux important de neutrons créé auprès de la cible de production serait très intéressante dans de nombreux domaines.

Citons par exemple l'étude des matériaux proche du cœur des réacteurs nucléaires (combustible, matériaux de gainage et de structure, matrice de transmutation) qui subissent de fortes irradiations par des neutrons rapides. La mise en place d'un poste d'irradiation neutronique auprès de SPIRAL II permettrait d'améliorer sensiblement la qualité des recherches sur la stabilité des matériaux du nucléaire.

Autre exemple, les faisceaux d'ions lourds intenses constituent un outil idéal pour produire des plasmas denses, confinés dans un solide, et les étudier. Ils ont l'avantage de permettre d'étudier précisément la réponse hydrodynamique de la matière hautement excitée, les transitions de phase sous onde de choc qui sont des états extrêmes de la matière dans l'univers.

Un tel projet, en faisant appel à des techniques de pointe pour la plupart maîtrisées dans les laboratoires situés sur le territoire national, permettra en outre à la France de conserver son avance technologique dans les domaines des accélérateurs de haute intensité.

Ce projet devrait mobiliser dans l'ensemble des laboratoires de physique nucléaire français l'équivalent de 80 physiciens, ingénieurs et techniciens à plein temps pendant 4 à 5 ans. Le budget d'investissement nécessaire est de l'ordre de 40 millions d'euros étalés sur quatre ans et un budget consolidé d'environ 80 millions d'euros.

Concernant les étapes à venir, l'Avant-Projet Détaillé (APD) est maintenant engagé. Il convient de noter à ce propos que le projet de Budget du Conseil Régional

pour l'année 2003 a prévu une participation à cette phase décisive à hauteur de 1,1 million d'euros.

Dans ce cadre, le CESR apprécie particulièrement les efforts de collaboration européenne qui s'intensifient. Cette étape demandée par les tutelles (CEA et CNRS) au GANIL est d'autant plus nécessaire qu'il existe en Europe d'autres projets plus ou moins avancés.

L'étape suivante sera de faire approuver, si possible avant fin 2003 par les deux tutelles au plan national, le projet pour ensuite être présenté au Ministère de la Recherche.

Aussi, le CESR demande au Gouvernement, conformément aux déclarations du Ministre de la Recherche lors de l'inauguration de SPIRAL en février 2002, de confirmer l'inscription du projet SPIRAL II au prochain Comité Interministériel d'Aménagement et de Développement du Territoire (CIADT) qui, dans le respect d'engagements antérieurs⁸, doit arrêter des mesures concrètes en faveur de la Basse-Normandie, prenant en considération les incidences négatives engendrées par la disparition de l'entreprise Moulinex.

Il convient de rappeler la décision politique prise en 2000 par le précédent Gouvernement, et ce, à l'encontre de la nécessité de rééquilibrage de la recherche⁹ en France, d'installer le Synchrotron SOLEIL à Saclay au lieu de Caen malgré des engagements gouvernementaux antérieurs¹⁰.

L'avenir à long terme : EURISOL

Pour une échéance plus lointaine, des réflexions très poussées, à la fois aux niveaux mondial et européen, menées ces deux dernières années, ont montré tout l'intérêt de disposer d'accélérateurs de faisceaux radioactifs de seconde génération permettant de produire des faisceaux d'isotopes rares selon deux types de procédés complémentaires :

- la fragmentation à haute énergie,
- la méthode ISOL (Isotope On Line).

Dans le premier cas, un faisceau de noyaux stables lourds de haute énergie est fragmenté par choc sur une cible mince permettant de former toutes sortes de noyaux. L'avantage de la méthode est qu'elle permet d'étudier des noyaux de très courte durée de vie. L'inconvénient est que ceux-ci sont formés à haute énergie (1 GeV par nucléon), ce qui ne permet pas tous les types d'expériences nécessaires.

⁸ Cf. CIADT de Limoges du 9 juillet 2001

⁹ Malgré un effort de redéploiement de la recherche au profit de la province ces dernières décennies, il n'en demeure pas moins que l'Île de France concentre, tous établissements et organismes confondus, encore plus de 30 % des chercheurs et même 43 % pour les seuls grands organismes, selon le Schéma de Services Collectifs de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche -automne 2000.

¹⁰ Lors du CIADT de janvier et février 1992, dans le cadre des dispositions à prendre suite à la fermeture d'Unimétal-Normandie.

Selon l'autre procédé, comme sur SPIRAL par exemple, un faisceau d'énergie intermédiaire produit des noyaux exotiques dans une cible épaisse. Ceux-ci sont ensuite ionisés et ré-accélérés par un autre accélérateur. L'inconvénient est qu'il faut un certain temps pour extraire les atomes de la cible de production et les ioniser. On n'aura donc pas accès aux particules de très courtes durées de vie. Par contre, la maîtrise de l'énergie finale du faisceau exotique est totale, ce qui autorise toute une palette d'expériences.

Les États-Unis ont pris l'option de bâtir un projet unique utilisant les deux méthodes. La communauté scientifique européenne a choisi pour sa part de développer deux machines complémentaires utilisant chacune l'une de ces deux méthodes.

Pour beaucoup d'experts, si le GSI en Allemagne est le candidat naturel à développer la machine de haute énergie, le GANIL serait un candidat de choix pour EURISOL, la machine basée sur la technique ISOL.

La méthode de fragmentation à haute énergie envisagée à GSI ne permettant d'explorer qu'une partie des expériences nécessaires et, suivant en cela les recommandations de NuPECC¹¹ et du Forum Megasciences de l'OCDE, la communauté européenne a entrepris l'étude d'une machine de seconde génération basée sur la méthode ISOL.

Cette étude est menée dans le cadre du RTD Européen EURISOL (2000-2003) coordonné par le GANIL et intégrant de grands laboratoires français, anglais, allemand, belge, italien, suisse et finlandais¹². Ce travail doit aboutir, mi 2003, à un rapport présentant un avant-projet sommaire et à la recommandation d'un certain nombre d'études techniques jusqu'en 2006, date à laquelle le choix d'un site devrait être effectué. La construction pourrait alors démarrer pour un fonctionnement à l'horizon 2010 - 2015.

EURISOL tel qu'envisagé aujourd'hui est constitué d'un « driver », d'un ensemble cible-source et d'un post-accélérateur permettant d'atteindre 100 MeV par nucléon. Pour ce qui est du « driver », l'option de référence est un accélérateur de protons de très haute intensité et d'une énergie de 1 à 2 GeV. L'option « driver électron » est également étudiée ainsi que la possibilité d'accélérer un certain nombre d'ions « lourds-légers » dans l'accélérateur de protons. La post-accélération quant à elle pourrait être confiée à un accélérateur linéaire supraconducteur du même type que celui envisagé comme « driver » pour SPIRAL II.

¹¹ Nuclear Physics European Collaboration Committee est un forum scientifique qui fixe les priorités dans le domaine de la physique nucléaire, mais n'a pas de pouvoir décisionnel ou financier.

¹² En l'occurrence : Chalmers University, Louvain, GSI, INFN, IPN Orsay, SPhN Saclay, ISOLDE-CERN, Jyväskylä, et le Rutherford Appleton Lab.

En résumé, bien que n'étant pas encore techniquement et budgétairement bouclé, on estime que le coût du projet EURISOL pourrait se situer entre 400 et 500 millions d'euros, ce qui témoigne de l'ampleur de ce projet que la France, seule, ne pourrait entreprendre et donc décider.

Le rôle qu'occupe le GANIL sur la scène internationale dans le domaine de la physique nucléaire est reconnu par la communauté scientifique. L'enjeu majeur pour le Très Grand Équipement à moyen terme est de conserver ce rang dans un contexte à la fois de collaborations et de compétitions fortes entre les installations de ce type.

À cet égard, devant le risque que représenterait une confrontation entre les très grands équipements européens, le CESR souhaite une étroite coopération entre ces grands laboratoires de physique nucléaire et ce, pour développer une véritable complémentarité dans les choix des investissements à venir.

Plus largement, il paraîtrait essentiel qu'une réflexion globale soit menée et aboutisse à un plan à long terme sur la physique nucléaire en Europe.

Le Projet SPIRAL II est la prochaine grande étape technique et scientifique à privilégier. Outre les avancées significatives attendues, la reconnaissance de GANIL permettra à la France de conserver le rang qui est le sien et de pouvoir se positionner en Europe pour l'accueil, à plus long terme, d'une machine de très haute intensité : le projet EURISOL.