



**HAL**  
open science

## GANIL, Matière à Histoire

Y. Jacob

► **To cite this version:**

| Y. Jacob. GANIL, Matière à Histoire. 2001, pp.1-284. in2p3-01002049

**HAL Id: in2p3-01002049**

**<https://hal.in2p3.fr/in2p3-01002049>**

Submitted on 10 Jun 2014

**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.

**Université de Caen / Basse-Normandie**

**UFR d'Histoire**

**Institut d'Histoire contemporaine**

**MEMOIRE DE MAITRISE**

présenté par

**M. Yann JACOB**

et soutenu

**le 14 novembre 2001**

en vue de l'obtention de la

**Maîtrise d'Histoire contemporaine**

**Titre :**

**GANIL, MATIERE A HISTOIRE (1972-2001)**

**Jury :**

*Directeur de mémoire :* M. Jean-Pierre DAVIET, Professeur à l'Université  
de Caen et Directeur de l'Institut d'Histoire contemporaine

M. le Professeur Jean-Pierre DAVIET  
Mme Monique Bex, Chargée de mission, GANIL

## ***Table des matières***

|   |           |
|---|-----------|
| Table des matières  | 2         |
| Préambule   | 6         |
| Introduction  | 8         |
| <b><i>I / Le GANIL aujourd'hui : un laboratoire international</i></b>   | <b>10</b> |
| A / Un survol rapide des structures et des installations  | 11        |
| 1 / L'implantation du GANIL   | 11        |
| 2 / Le statut du laboratoire  | 13        |
| 3 / Une structure à l'écoute des besoins scientifiques  | 13        |
| 4 / Deux spécificités : le budget et le personnel   | 13        |
| 5 / L'accélérateur et les dispositifs expérimentaux   | 14        |
| 6 / GANIL, un laboratoire régional, national, européen  | 14        |
| B / Le GANIL : entre physique nucléaire et interaction ion-matière  | 15        |
| 1 / La démarche des aventuriers du savoir   | 15        |
| 2 / Accélérer les ions lourds pour comprendre la matière  | 16        |
| 3 / SPIRAL : un formidable outil pour GANIL   | 17        |
| 4 / Les salles d'expérience et les équipements expérimentaux  | 18        |
| 5 / La méthode de travail du chercheur  | 18        |
| 6 / L'étude des noyaux chauds   | 19        |
| 7 / Vers l'inattendu : les noyaux exotiques   | 19        |
| 8 / Déroulement d'une expérience au GANIL   | 21        |
| 9 / La collaboration interdisciplinaire autour de l'interaction ion-matière   | 22        |
| <b><i>II / Aux origines du projet : une savante alchimie entre restructuration de la recherche et nouvelles possibilités de la physique nucléaire</i></b> | <b>24</b> |
| A / La naissance du premier père du GANIL : l'IN2P3   | 25        |
| 1 / Quelques réflexions sur la création des instituts du CNRS   | 25        |
| 2 / La longue gestation de l'IN2P3  | 27        |
| 3 / Le décret du 14 avril 1971  | 29        |
| B / Le CEA : un atout maître de la physique nucléaire   | 30        |
| 1 / La création du Commissariat à l'énergie atomique  | 30        |
| 2 / Un grand organisme à la pointe de la recherche fondamentale   | 31        |
| 3 / La collaboration CEA-CNRS : prémices du GANIL   | 32        |
| C / Des outils pour accélérer les constituants de la matière  | 33        |
| 1 / Histoire des accélérateurs  | 33        |
| 2 / Les ions lourds au début des années 70  | 37        |
| 3 / Schéma de principe de l'accélération grâce à un cyclotron   | 38        |
| 4 / Le parc mondial des accélérateurs d'ions lourds en 1972   | 38        |
| 5 / De grands projets d'accélérateurs d'ions lourds   | 40        |
| 6 / Les accélérateurs du CEA  | 41        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>III / Le projet d'un grand accélérateur national d'ions lourds : vers la machine de physique nucléaire des années 80</b> | <b>43</b> |
| A / Un cahier des charges de la physique des années 80  | 44        |
| 1 / La mission donnée au groupe de travail  | 44        |
| 2 / Les conclusions du groupe : l'avant-projet GANIL  | 45        |
| 3 / Les caractéristiques optimales de l'accélérateur d'ions lourds  | 47        |
| 4 / Les recommandations du groupe de travail  | 48        |
| 5 / Paramètres et technique de l'accélérateur   | 50        |
| 6 / Equipement expérimental et infrastructure   | 51        |
| 7 / Le coût du projet   | 53        |
| 8 / Les conclusions du groupe de travail  | 54        |
| B / La création du comité de projet : un pas de plus pour le GANIL  | 56        |
| 1 / Sa constitution et ses attributions   | 56        |
| 2 / Les travaux préparatoires du Groupe de projet   | 58        |
| 3 / Le second « livre bleu » : un projet abouti   | 61        |
| a / Introduction à l'étude du groupe de projet  | 61        |
| b / Conception générale et théorie des CSS  | 61        |
| c / Caractéristiques des aimants des CSS  | 62        |
| d / Le système accélérateur   | 63        |
| e / Ensemble injecteur : les sources d'ions et le Co  | 63        |
| f / Le strippage  | 64        |
| g / Vide, chambre à vide et pompage   | 64        |
| h / Injection, éjection, transfert  | 65        |
| i / Utilisation du faisceau et dispositifs expérimentaux  | 65        |
| j / L'informatique au service du GANIL  | 66        |
| k / Génie civil et infrastructure   | 67        |
| l / Planning, personnel, prix   | 67        |
| m / Conclusions   | 68        |
| C / Construire le GANIL à Caen : un choix surprenant  | 69        |
| 1 / Un contexte économique peu propice  | 69        |
| 2 / Le choix du site d'accueil de GANIL   | 70        |
| 3 / La création du GIE GANIL  | 73        |
| 4 / Le contrat constitutif du GIE et son règlement intérieur  | 75        |
| D / La construction du GANIL : une belle aventure humaine   | 78        |
| 1 / Un petit retour début 75  | 78        |
| 2 / La mise en chantier à Caen  | 79        |
| 3 / Etudes, financement et réalisations techniques en 1976  | 79        |
| 4 / 1977 : un grand effort pour les cyclotrons  | 82        |
| a / Les solutions techniques retenues   | 82        |
| b / Bâtiments et aires expérimentales   | 85        |
| 5 / 1978 : une année difficile  | 86        |
| a / 30 millions de francs de subventions en moins   | 86        |
| b / Des réalisations en vraie grandeur  | 87        |
| c / La construction du bâtiment machine   | 89        |
| 6 / 1979 : arrivée, assemblage et test des premières pièces   | 89        |
| a / Avancement de la machine  | 89        |

|   |            |
|---|------------|
| b / Acquisition de données  | 90         |
| c / Spectrométrie et dispositifs expérimentaux  | 91         |
| d / Les troisièmes journées GANIL   | 93         |
| e / Les problèmes de budget   | 94         |
| 7 / 1980 : les cyclotrons s'habillent et le bâtiment des aires émerge                         | 95         |
| a / L'ensemble accélérateur   | 95         |
| b / les aires expérimentales  | 96         |
| 8 / 1981 : les travaux se poursuivent   | 98         |
| a / Un accélérateur à l'allure d'accélérateur   | 98         |
| b / Mise en place des salles d'expériences  | 99         |
| 9 / 1982 : la dernière ligne droite   | 102        |
| a / La mise en service de l'ensemble accélérateur   | 102        |
| b / Les salles d'expériences  | 104        |
| c / fonctionnement du laboratoire   | 105        |
| d / L'impact du GANIL sur la région bas-normande  | 106        |
| e / L'inauguration du GANIL   | 106        |
| <b><i>IV / Les dix premières années du GANIL : le temps de l'affirmation, 1982-1992 :</i></b> | <b>109</b> |
| A / 1983-1985 : une meilleure connaissance de l'accélérateur                                  | 110        |
| 1 / L'organisation interne du laboratoire   | 110        |
| 2 / L'accélérateur en fonctionnement  | 111        |
| 3 / Première évolution : GANIL configuration 2,5  | 113        |
| 4 / Les dispositifs expérimentaux   | 114        |
| B / 1985-1992 : de profonds changements au GANIL  | 117        |
| 1 / Différentes modifications sur l'ensemble accélérateur                                     | 117        |
| a / L'opération augmentation d'énergie (OAE)  | 117        |
| b / La course aux sources ECR   | 119        |
| c / L'opération augmentation d'intensité : nouvelle réussite                                  | 120        |
| 2 / L'évolution et le renouvellement des dispositifs expérimentaux                            | 121        |
| a / La Sortie Moyenne Energie   | 121        |
| b / De nouveaux dispositifs pour suivre l'OAE   | 122        |
| c / TAPS : un premier pas vers la collaboration européenne                                    | 122        |
| d / De LISE à LISE 3  | 123        |
| e / SISSI et les exotiques  | 124        |
| f / INDRA et les noyaux chauds  | 126        |
| g / Nouveaux systèmes Contrôles et d'acquisition de données                                   | 128        |
| 3 / l'accélérateur et l'environnement pluridisciplinaire                                      | 129        |
| a / Un accélérateur au service de la physique   | 129        |
| b / Les applications industrielles  | 133        |
| 4 / Le GANIL et sa région   | 134        |
| a / Le laboratoire CYCERON  | 134        |
| b / GANIL et son Directeur  | 137        |
| c / Budgets et effectif 1983-1992   | 139        |
| C / Des résultats scientifiques à la mesure de l'engagement                                   | 140        |
| 1 / Mais qui est-il ce noyau ?  | 140        |
| 2 / Les noyaux exotiques : vitrine du GANIL   | 142        |

|  |                   |     |
|--|-------------------|-----|
| 2 / Les noyaux chauds  | 143               |     |
| 3 / Les résonances géantes                                       | 145               |     |
| 4 / Production de photons et de pions                            | 146               |     |
| 5 / Physique de l'atome et de la matière condensée               | 147               |     |
| <b>V / GANIL : Un grand laboratoire européen, 1992-2001</b>      | <b>149</b>        |     |
| A / GANIL Plus et SPIRAL : la réalisation des années 90          | 151               |     |
| 1 / Les origines du projet                                       | 151               |     |
| 2 / GANIL PLUS : un projet abouti                                | 153               |     |
| a / L'opération THI  | 154               |     |
| b / Le projet SPIRAL   | 155               |     |
| 3 / SPIRAL : une réalité   | 158               |     |
| 4 / L'opération THI en œuvre                                     | 159               |     |
| 5 / 1994-2001 : les différentes phases du projet                 | 160               |     |
| B / Evolution de l'accélérateur et des dispositifs expérimentaux | 164               |     |
| 1 / L'accélérateur 1993-2001                                     | 164               |     |
| 2 / Les évolutions de LISE                                       | 169               |     |
| 3 / SIRa : Séparateur d'Ions Radioactifs                         | 170               |     |
| 4 / SISSI et ses mésaventures                                    | 171               |     |
| 5 / VAMOS et EXOGAM  | 172               |     |
| 6 / Pluridisciplinarité au GANIL : IRRSUD et LIMBE               | 173               |     |
| 7 / La Direction et le budget                                    | 174               |     |
| C / Sur la piste de la connaissance du noyau                     | 175               |     |
| 1 / Les nouveaux noyaux exotiques                                | 176               |     |
| 2 / Les noyaux chauds  | 179               |     |
|  | Conclusion        | 181 |
|  | Sigles            | 183 |
|  | Glossaire         | 185 |
|  | bibliographie     | 187 |
|  | Sources, archives | 193 |
|  | Table des annexes | 196 |
|  | Annexes           | 198 |

# PREAMBULE

Le laboratoire GANIL a été créé par deux organismes de recherche associés, à parts égales, pour sa construction et son fonctionnement : le CEA et l'IN2P3. Sa forme juridique est celle d'un Groupement d'Intérêt Economique. La Région Basse-Normandie a soutenu le projet en apportant une contribution appréciable au financement de la réalisation. La décision de construction a été prise en août 1975 et la première expérience réalisée en janvier 1983.

Le GANIL a pour vocation de contribuer à l'avancement des connaissances dans le domaine de la physique nucléaire, de la physique atomique et de la matière condensée, mais aussi en astrophysique et en biologie. C'est un laboratoire d'accueil qui, depuis 1993, est reconnu Grande Installation Européenne pour la recherche. Il se veut un outil à la disposition de la communauté scientifique nationale et internationale. Les 250 agents du GANIL ont pour mission essentielle de rendre possible des recherches expérimentales en fournissant les moyens nécessaires : les faisceaux d'ions lourds, les grands équipements des salles d'expériences et les ordinateurs d'enregistrement des données expérimentales. Chaque année, environ 600 physiciens français et étrangers viennent au GANIL, pour quelques jours ou quelques semaines, afin d'y réaliser les expériences qu'ils ont d'abord préparées et qu'ils analysent ensuite dans leurs propres laboratoires. Les expériences menées au GANIL concernent la physique nucléaire, mais aussi pour 10 à 15 % du temps la physique de l'atome et la physique de la matière condensée. Ces disciplines bénéficient de l'appui d'un laboratoire local, le CIRIL, implanté sur le site du GANIL. Il se consacre à l'étude de l'interaction des ions lourds avec la matière.

Maintenant que le décor est planté, nous pouvons affirmer que le GANIL est un formidable sujet d'études diverses bien entendu en physique, mais également en sociologie et en histoire des sciences. Nous profiterons de cet instant pour adresser nos chaleureux remerciements à toutes les personnes qui nous ont permis de réaliser ce mémoire de maîtrise : Tout d'abord M. Jean-Pierre Daviet et Mme Catherine Nicault qui sont à l'initiative de ce projet, mais également la Direction du GANIL qui nous a permis de réaliser un stage au sein du laboratoire afin de pouvoir consulter tous les documents nécessaires à notre étude et par ailleurs de pouvoir discuter et interviewer certains acteurs importants de l'histoire du GANIL. Nous pensons ici à Remy Anne, Eric Baron, Maurice Van Den Bossche, Joël Galin, François De Oliveira Santos, Jean-Marc Casandjian, Laurent Beauvais, et les membres du groupe des aires expérimentales

auxquels nous adressons un clin d'œil particulier. J'aimerais surtout remercier la personne qui a toujours été présente pour m'aider et me renseigner, me présenter à différents ingénieurs, techniciens et physiciens du laboratoire, et qui m'a toujours permis de consulter les archives du GANIL sans aucune restriction, à savoir Mme Monique Bex. Chère Monique, merci de tout cœur.

Je voudrais conclure ce préambule en revenant un instant sur les archives du laboratoire. Il est vrai qu'il est difficile de discerner l'intérêt historique d'un document après seulement quelques années d'existence. Pour pallier ce handicap, nous avons décidé de nous intéresser à toute la production scientifique, technique et administrative du laboratoire de 1972 à nos jours. Cet exercice représente un travail colossal qui a constitué l'essentiel de nos recherches. De plus, ces archives n'étaient pas classées selon un système qui pourrait ressembler à celui des archives départementales : mis à part quelques rapports numérotés selon l'année et le mois de rédaction, il faut plutôt parler de familles d'archives dont nous parlons dans le tome 2. Une partie de ces documents étaient classés à la documentation du GANIL, et d'autres étaient éparpillés dans divers placards et armoires de rangement. Il nous a donc fallu retrouver tous ces documents épars afin de combler les nombreux vides de la documentation. Le résultat de cette opération est vraiment satisfaisant : le GANIL dispose désormais de toutes ses archives réunies en un même endroit, archives qui pourront ainsi être cotées, ce qui représentera ainsi une collection intéressante. Ce travail de recherche et d'analyse qui fut long et harassant a également nécessité une remise à niveau en physique pour nous permettre de comprendre les différents documents relatifs aux dispositifs expérimentaux et à la physique mise en œuvre au GANIL. Le résultat de ces démarches est maintenant sous vos yeux. Nous espérons qu'il vous satisfera sous tous les points, et vous fera apprécier l'étude de l'histoire de la physique nucléaire à travers l'exemple du GANIL.

# INTRODUCTION

La découverte des rayons X a été annoncée par Röntgen fin décembre 1895, la semaine même où les frères Lumière projetaient à Paris leur premier film de cinéma. Dix semaines plus tard, Henri Becquerel, au cours d'expériences effectuées pour comprendre l'origine de ces rayonnements, découvrait la radioactivité. Dans la suite de ces travaux et un an plus tard, Thomson identifiait l'électron, puis, en 1898, Pierre et Marie Curie montraient la présence, dans la nature, d'autres corps radioactifs, le polonium et le radium, qui émettent des rayonnements très intenses grâce auxquels il devenait possible d'étudier la radioactivité. En trois ans, la physique classique avait été remise en cause. La matière que l'on croyait immuable apparaissait périssable, changeante. Les principes de conservation de la masse et de l'énergie, fondements de la physique classique, étaient mis en défaut par la radioactivité. La vision qui était imposée par les sens sur la matière, l'énergie, devait évoluer. Entre 1903 et 1905, les travaux de Max Planck et d'Albert Einstein jettent les bases de nouvelles physiques, celles de la mécanique quantique et de la relativité qui se sont rapidement imposées car elles seules pouvaient rendre compte des phénomènes à l'échelle de l'infiniment petit et de l'infiniment grand. Ce prodigieux tournant dans l'histoire des sciences oblige à repenser les concepts sur la matière, l'espace et le temps. L'étude du noyau de l'atome fait partie de ces nouveaux concepts, puisqu'il devient possible de rendre compte de ce qui se passe en son sein.

Le GANIL, le Grand Accélérateur National d'Ions Lourds, est un instrument de choix pour la recherche fondamentale en physique nucléaire, la physique du noyau. Au début des années 70, les physiciens qui travaillent sur l'étude du noyau se trouvent de plus en plus limités dans le domaine des énergies. Il est ainsi impossible de valider par l'expérience des concepts théoriques qui sont peut-être erronés. Cette communauté de chercheurs décide alors avec l'accord des grands organismes de recherche de rédiger un rapport qui propose la création d'un accélérateur d'ions lourds qui doit permettre d'améliorer les connaissances sur le noyau. Cet accélérateur, ce sera le GANIL. En août 1975, la décision de construire ce laboratoire à Caen pour une somme de 250 millions de francs est prise. Le premier faisceau est quant à lui délivré en novembre 1982, et la première expérience a lieu en janvier 1983. Durant les 19 années qui suivent, le laboratoire n'a de cesse de se développer et d'acquérir une grande réputation au sein de la communauté internationale des chercheurs en physique nucléaire. Il devient même en septembre 2001 le leader mondial de l'accélération des faisceaux secondaires.

Cette structure de recherche est très intéressante sous divers aspects et nous permet de poser de nombreuses questions. Pourquoi la décision de construire un tel équipement coûteux a-t-elle été prise dans un contexte économique difficile ? Quels étaient les enjeux de la construction de ce laboratoire ? Pourquoi deux structures aussi différentes que le CEA et l'IN2P3 se sont-elles unies autour de ce projet ? Pourquoi est-ce la ville de Caen qui a été choisie pour recevoir ce grand équipement ? Comment le laboratoire a-t-il évolué et quels choix scientifiques et technologiques ont été faits ? Ce sont-ils révélés pertinents ? Et quel est l'avenir du GANIL aujourd'hui ? Autant de questions auxquelles nous essayerons de répondre. Il ne s'agit bien évidemment pas de retracer l'histoire de la physique nucléaire des 25 dernières années, mais plutôt de s'intéresser à une structure singulière qui a su attirer les chercheurs et devenir un moteur de la recherche mondiale en physique nucléaire. Il s'agit de se tourner vers le passé pour distinguer quelques lignes de force de l'histoire du GANIL. Nous suivrons ainsi une approche assez chronologique, la seule à notre sens capable de bien rendre compte des évolutions du laboratoire. Elle s'articulera autour de phases majeures de l'existence du laboratoire. Les origines du projet, la réalisation du laboratoire et ses deux décennies d'existence seront les principaux thèmes abordés tout au long de cette étude, dans le but de répondre à la question ultime : GANIL a-t-il concrétisé tous les espoirs que la communauté internationale de physique nucléaire avait placés en lui ? C'est ce que nous essayerons de comprendre aux moyens des sources écrites et de témoignages oraux. Alors replongeons-nous, après une présentation du laboratoire en 2001, exactement 30 années en arrière aux origines du projet GANIL.

# **Chapitre 1**

## **GANIL en 2001**

# ***I / Le GANIL aujourd'hui : un laboratoire international :***

## A / Un survol rapide des structures et des installations :

### 1 / L'implantation du GANIL :

Le GANIL est implanté en Basse-Normandie, à la périphérie nord de la ville de Caen, sur un plateau qui porte le nom de campus Jules Horowitz. Il occupe 18ha sur un site de 33ha situé précisément sur les communes d'Epron, de Caen et Hérouville-saint-Clair. Construit il y a 25 ans au milieu des champs, le GANIL est aujourd'hui situé au milieu d'une technopole universitaire et industrielle qui fait la réputation de la ville de Caen<sup>1</sup>. Sur le site en lui-même on peut distinguer principalement 3 bâtiments<sup>2</sup>:

- ↳ Le bâtiment ingénieurs et physiciens, siège de la direction, de l'administration et des principaux secteurs scientifiques et techniques.
- ↳ Le bâtiment machine, à l'intérieur duquel se situe l'ensemble accélérateur, à savoir les sources d'ions, les 2 cyclotrons injecteurs, les 2 cyclotrons à secteurs séparés, les lignes de transfert des faisceaux, SISSI, dispositif permettant de délivrer des faisceaux d'ions exotiques, le cyclotron CIME, les lignes de faisceau de SPIRAL et des galeries techniques.
- ↳ Le bâtiment des aires expérimentales, prolongeant le bâtiment machine à l'est, qui se compose d'une salle de distribution de faisceau appelée « arête de poisson » et de salles d'expériences au nombre de huit dans lesquelles sont dirigés les faisceaux accélérés.

Il faut également ajouter à ces trois grands ensembles les structures directement liées à l'accélérateur :

- ↳ Le bâtiment énergie qui assure la fourniture en eau de refroidissement, en électricité et en particulier en courant continu et auquel sont accolées des tours de réfrigération.

---

<sup>1</sup> Audition par l'office parlementaire des choix scientifiques et technologiques, 13 septembre 1993

<sup>2</sup> Annexe 1, plan général du GANIL et photographie aérienne

- ↳ Le bâtiment Contrôle/Commande, qui abrite le poste de commande principal et destiné à assurer le contrôle et la commande de l'installation.
- ↳ Les bâtiments d'acquisition nord et sud, qui accueillent les appareillages électroniques de mesures et de traitement des données nécessaires pour les expériences.
- ↳ Le laboratoire CIRIL, qui accueille des chercheurs réalisant des expériences dans le domaine de la physique atomique, de la physique de la matière condensée et de la radiobiologie.

Tous ces bâtiments, mis à part le bâtiment ingénieurs et physiciens, sont situés dans une enceinte INB (installation nucléaire de base) close, référencée INB 113, et dont l'accès est soumis à la réglementation en vigueur. Il existe d'ailleurs un service de radioprotection, le SPR, responsable du contrôle radiologique des hommes et des installations. Citons enfin les autres constructions du campus :

- ↳ L'atelier du GANIL et le hall d'essais, à l'intérieur desquels s'organisent des activités de fraisage, de tournage, de montage d'éléments mécaniques, de tests de vide de grands ensembles, de montage et d'essais de sources d'ions et des expériences avec des faisceaux d'ions de très basse énergie.
- ↳ Le poste de transformation EDF, qui comporte deux transformateurs de 90kV/20kV à huile et de puissance 100 MVA.
- ↳ Le bâtiment chaufferie et traitement des eaux, qui abrite la chaufferie à gaz du GANIL et le système de déminéralisation de l'eau des circuits destiné à refroidir les éléments des accélérateurs et des salles d'expériences.
- ↳ Le restaurant, qui sert 300 repas par jour, et la maison d'hôtes qui compte 40 chambres et accueille les expérimentateurs de passage au GANIL.
- ↳ Le laboratoire CYCERON qui exploite un cyclotron à protons de faible énergie pour la fabrication et les tests de traceurs biologiques pour diagnostics médicaux. Il s'agit d'un établissement indépendant du GANIL avec lequel est passée une convention concernant d'éventuels concours en matière de radioprotection.

## 2 / Le statut du laboratoire :

Le Grand Accélérateur national d'Ions Lourds (GANIL) est un laboratoire commun au CNRS et au CEA associés à parts égales dans un Groupement d'Intérêt Economique (GIE) créé en 1976. Il dépend aujourd'hui de l'IN2P3, l'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules, Institut du CNRS, et de la DSM, la Direction des Sciences de la Matière, une des directions du CEA. Sa vocation première est de contribuer à l'avancement des connaissances dans les domaines de la physique nucléaire, de la physique atomique et de la matière condensée<sup>3</sup>. Son directeur est actuellement M. Dominique GOUTTE, et le directeur adjoint M. Marek LEWITOWICZ. Le rôle de secrétaire générale du GIE GANIL est en outre assuré par M. Laurent Beauvais.

## 3 / Une structure à l'écoute des besoins scientifiques :

Le GANIL possède différents comités et instances décisionnelles qui gèrent le fonctionnement administratif et juridique du laboratoire. Il existe ainsi un Comité de direction, un Conseil scientifique international, un Comité d'expériences en physique nucléaire, un Comité d'expériences en recherche pluridisciplinaire, un Bureau des utilisateurs, un Conseil de laboratoire et des délégués du personnel. Nous reviendrons plus tard sur le rôle de chacune de ces instances. Il faut évidemment ajouter à ces structures le Secrétariat général du GIE GANIL. Ces organes travaillent tous dans le but commun de placer le GANIL dans un rôle de leader de la recherche fondamentale en physique nucléaire.

## 4 / Deux spécificités : le budget et le personnel :

En effet, le GANIL possède un budget propre, mais uniquement consacré aux dépenses de fonctionnement et d'investissement. Le GIE, qui a la responsabilité de la gestion de ce budget, ne possède pas de personnel propre. Ce sont les organismes de tutelle, le CNRS et le CEA, qui détachent du personnel auprès du GANIL. Nous reviendrons plus tard sur les raisons de ce choix relatif à la création du GIE en 1976. Ainsi, les deux membres du GIE, le CNRS et le CEA contribuent à parts égales au budget du GANIL. Le laboratoire reçoit également des subventions de la région et de l'Union européenne, du fait de sa reconnaissance comme grande installation européenne, et il peut également passer des marchés avec des entreprises privées qui souhaitent utiliser les installations du GANIL pour tester ou réaliser des produits industriels.

---

<sup>3</sup> Règlement intérieur du laboratoire GANIL, Documentation GANIL

## 5 / L'accélérateur et les dispositifs expérimentaux :

Le GANIL se présente avant tout comme un laboratoire d'accueil et un outil pluridisciplinaire au service des utilisateurs français ou étrangers. Techniquement parlant, ce laboratoire possède un ensemble accélérateur composé de trois cyclotrons en cascade, un cyclotron injecteur et 2 cyclotrons à secteurs séparés, mais nous reviendrons plus tard sur ces spécificités. Cet ensemble fournit donc des faisceaux d'ions lourds dans une très large gamme de masse, du carbone à l'uranium, et d'énergie, de 100 KeV à 100 MeV. Un nouvel ensemble de production et d'accélération de faisceaux exotiques, nommé SPIRAL, est d'ailleurs entré en service le 23 septembre 2001. L'ouverture européenne s'affirme également forte avec ce projet, puisque la construction des dispositifs expérimentaux nécessaires à SPIRAL est réalisée grâce à des soutiens financiers significatifs qui viennent de l'Union européenne. Enfin, il existe une volonté au GANIL de proposer à la communauté scientifique des équipements expérimentaux performants et adaptés aux derniers objectifs de la physique nucléaire. Dans cet objectif, il existe plusieurs programmes scientifiques basés sur la collaboration avec des partenaires européens.

## 6 / GANIL, un laboratoire régional, national, européen :

La décision de construire le GANIL à Caen est à replacer dans un contexte de décentralisation décidée par l'Etat au cours des années 70. Nous reviendrons plus en détail sur cette période, mais nous devons tout de même remarquer que depuis cette époque, la région Basse-Normandie fut toujours un partenaire privilégié du GANIL. La région participe d'ailleurs tous les ans au budget du laboratoire. De plus, il existe également plusieurs accords de coopération avec l'Université de Caen, l'Institut des sciences de la matière et du rayonnement, l'ISMRA, et le laboratoire médical CYCERON placé à quelque pas du GANIL sur le campus Jules Horowitz. Dans cette optique, le GANIL accueille environ 80 stagiaires et doctorants par an. Enfin, le GANIL, par la vitrine technologique qu'il représente, a réussi dans une certaine mesure à structurer le plateau nord de Caen, qui est aujourd'hui une véritable technopole scientifique, universitaire et industrielle, et qui porte d'ailleurs le nom de technopole du plateau GANIL.

Mais le GANIL va plus loin. En accord avec sa politique de laboratoire d'accueil, il s'est doté de structures propres à faciliter la vie de ses utilisateurs : il existe une maison d'hôtes, des équipements techniques et informatiques lourds à la disposition d'équipes de chercheurs. En effet, la communauté d'utilisateurs se répartit dans 50 laboratoires du CEA, du CNRS et des universités. En outre, il existe un contrat de plan interrégional entre la Basse-Normandie, la Haute-Normandie, l'Ile-de-France et l'Aquitaine sur la

recherche en physique nucléaire, physique atomique et physique de la matière condensée. Enfin, le GANIL est un laboratoire de portée internationale puisqu'il accueille chaque année plusieurs centaines de chercheurs étrangers. C'est un véritable centre de recherche d'excellence au niveau mondial. C'est la conclusion de l'audit réalisé en 1997 à la demande du CEA et CNRS par un panel international de physiciens de renom, présidé par le professeur R. Siemssen de l'Université de Gronigen, éditeur de la revue Physics Letters, un périodique mondialement reconnu <sup>4</sup>:

*« GANIL est un laboratoire de tout premier ordre à tous les points de vue, à la pointe de la recherche...Il a joué depuis le début un rôle moteur avec de nombreux résultats majeurs dans ses champs scientifiques de compétence. Avec SPIRAL, ce sera pour de nombreuses années une installation unique au monde »*

Le GANIL apparaît aujourd'hui comme une des grandes installations reconnues au monde au même titre que MSU aux Etats-Unis, RIKEN au Japon et GSI en Allemagne dans le domaine de la physique nucléaire. Maintenant que le GANIL nous paraît plus familier, pénétrons plus en détail dans ce laboratoire d'étude, et intéressons-nous aux recherches sur les constituants essentiels de notre univers.

## B / Le GANIL : entre physique nucléaire et interaction ion-matière :

### 1 / La démarche des aventuriers du savoir :

Un point marquant des entretiens que j'ai pu avoir avec différents physiciens, ingénieurs et techniciens du GANIL est leur manière d'aborder la discipline. Nous avons souvent entendu parler de l'analogie avec la médecine : il est plus intéressant pour les progrès de cette science d'étudier un sujet malade qu'un sujet bien portant ; les symptômes et les conséquences d'un dysfonctionnement de l'organisme nous renseignent énormément sur le métabolisme du corps humain. Il en est souvent de même pour la physique, et de la science en général. Elle progresse souvent plus de l'anomalie observée que de la banalité. Ainsi, créer des noyaux très perturbés en température, en proportion neutron-proton, en dimension, et observer ces espèces éphémères nous renseigne sur les propriétés de la matière nucléaire et remet parfois en question les interprétations théoriques les plus modernes. Le GANIL est l'un des pôles de recherche mondiaux sur l'étude des états extrêmes des noyaux.

Depuis 1932 nous savons que le noyau est composé d'un assemblage de particules fortement liées entre elles : les protons et les neutrons<sup>5</sup>. Tout au long du vingtième siècle, notre compréhension du monde subatomique n'a cessé de progresser. Cependant

---

<sup>4</sup> GANIL, présentation générale, septembre 2000, Documentation GANIL

<sup>5</sup> GANIL, l'exploration du monde subatomique, site Internet [www.ganil.fr](http://www.ganil.fr)

aujourd'hui encore le noyau pose bien des questions fondamentales pour lesquelles les physiciens sans cesse et avec passion cherchent des réponses : d'expériences en expériences, de confirmation en découvertes c'est une conception enrichie du noyau atomique qui petit à petit émerge. Plus de cent noyaux ont été découverts. Plusieurs centaines d'autres ont été étudiées pour la première fois. Cette exploration met en évidence de nouvelles formes de cohésion, de nouvelles stabilités, de nouvelles structures : des noyaux dont l'existence prédite a été démentie par l'expérience, des déformations imprévues, des noyaux entourés d'un large nuage de neutrons (le halo), des noyaux ressemblant à des molécules, de nouveaux noyaux magiques tel l'Etain 100 ou le Nickel 48. Des vibrations d'une harmonie inattendue ont été mises en évidence démontrant que le noyau possède des propriétés mécaniques exceptionnelles. Des températures dépassant 100 milliards de degrés ont pu être atteintes. Au-delà d'un seuil en énergie le noyau se fragmente puis se vaporise. Ces études participent également au progrès conceptuel de la physique car elles mettent en jeu les théories contemporaines telles la mécanique quantique, le chaos, la cosmologie.

## 2 / Accélérer les ions lourds pour comprendre la matière :

Revenons maintenant sur quelques notions de base en physique qui nous aiderons à mieux comprendre le fonctionnement de l'accélérateur. L'atome se compose d'un noyau au centre et d'électrons évoluant autour de ce cœur. Le noyau est quant à lui constitué de nucléons : les neutrons et les protons. L'atome est électriquement neutre. Il est cependant possible de lui arracher des électrons et d'obtenir ainsi des atomes qui possèdent alors une charge électrique non nulle, les ions. Le GANIL est conçu pour accélérer une large gamme d'ions qui vont du carbone à l'uranium jusqu'à des vitesses très élevées pouvant atteindre le tiers de la vitesse de la lumière. Les principales étapes de la production d'un faisceau sont les suivantes <sup>6</sup>:

- ↳ **La production d'ions :** une source ECR génère des ions faiblement chargés qui sont extraits vers un petit cyclotron C01 ou C02 grâce à une différence de potentiel.
- ↳ **La première accélération :** Dans le cyclotron CSS1, les ions subissent une succession d'accélération en traversant plusieurs fois de suite le même champ électrique. Ces mêmes ions sont maintenus sur une trajectoire circulaire par un électroaimant qui crée un important champ magnétique.
- ↳ **La phase de « stripping » :** Après l'extraction du cyclotron CSS1, les ions traversent à grande vitesse une mince feuille de carbone. Les ions sont ainsi

---

<sup>6</sup> Annexe 2, présentation du système accélérateur

épluchés, c'est-à-dire qu'ils perdent encore certains de leurs électrons, et ils acquièrent ainsi une charge électrique plus grande nécessaire pour l'accélération suivante.

- ↳ **La seconde accélération** : Grâce à l'accroissement de charge, un deuxième cyclotron CSS2 identique au premier peut accélérer à nouveau les ions à leur vitesse maximale.
  
- ↳ **L'analyse magnétique** : Le faisceau soigneusement aligné, est finalement analysé en énergie par le spectromètre à haute résolution en « alpha », puis envoyé dans l'une des 8 salles d'expériences.

Voici résumé en quelques lignes le fonctionnement global de l'ensemble accélérateur. Nous reviendrons bien sûr en détails sur ces différents dispositifs.

### 3 / SPIRAL : un formidable outil pour GANIL :

Jusque récemment, les cibles et les faisceaux ne pouvaient être constitués que des noyaux que l'on trouve en abondance sur terre. Cela restreignait de façon drastique le champ d'investigation de la physique nucléaire. En effet, 90% des noyaux ont une durée de vie courte et ne peuvent survivre sur notre planète. Ces noyaux dits « exotiques » échappent ainsi à notre connaissance. Les physiciens savent les synthétiser en laboratoire. Toutefois, pour connaître la structure de ces espèces exotiques, il faut pouvoir leur faire subir des collisions avant qu'elles ne meurent. Rares et éphémères, il est impossible d'en fabriquer des cibles. Il faut donc en constituer des faisceaux immédiatement après les avoir produites. Voilà ce que permet SPIRAL : Système de Production d'Ions Radioactifs en Ligne. Dépassant, grâce à ces nouveaux faisceaux de noyaux de synthèse, les anciennes limites du GANIL, les physiciens vont accumuler des données nouvelles sur les milliers de noyaux qui peuplent l'univers. Nous aurons l'occasion de revenir sur ce système qui vient rentrer en exploitation le 23 septembre et dans lequel GANIL place beaucoup d'espoir. Le premier faisceau produit était composé d'un isotope n'existant pas sur Terre : le Néon 18. A 17h00, ce faisceau est entré en collision avec une cible d'hydrogène solide. Le dispositif expérimental était prêt pour observer ces collisions d'un genre nouveau. Moins d'une semaine plus tard le pari était gagné, le Sodium 19, noyau miroir de l'Oxygène 19, avait dévoilé sa structure. Ces états et leurs homologues permettront de comprendre des réactions thermonucléaires qui créent les éléments dans l'univers.

#### 4 / Les salles d'expérience et les équipements expérimentaux :

Il existe au GANIL différents équipements réservés aux équipes de chercheurs. Le plus simple est de les évoquer brièvement, car nous aurons l'occasion d'y revenir <sup>7</sup>:

- ↪ **LISE** : la Ligne d'Ions Super Epluchés, qui a pour objectif de produire et sélectionner des noyaux radioactifs et des ions lourds très épluchés.
- ↪ **SPEG** : le Spectromètre à Perte d'Énergie du GANIL, qui est constitué de la ligne d'analyse, guidant les projectiles jusqu'à la cible, et du spectromètre sélectionnant les produits des réactions nucléaires.
- ↪ **INDRA** : c'est un dispositif d'étude des noyaux chauds aux limites extrêmes de leur existence.
- ↪ **ORION** : Organic Interceptor of Neutrons. Le détecteur ORION permet de mesurer l'énergie d'excitation de noyaux chauds en observant les neutrons évaporés. ORION est constitué de 4200 litres de scintillateur liquide dopé au gadolinium. La lumière créée est collectée par 22 photomultiplicateurs

Citons enfin la SME, Sortie Moyenne Énergie, utilisant le faisceau sorti de CSS1, SIRA, la salle G4 où se produisent les irradiations commandées au GANIL pour tester certains matériels électroniques, et les deux détecteurs en cours de réalisation, EXOGAM et VAMOS, qui doivent servir aux expériences réalisées grâce à SPIRAL.

#### 5 / La méthode de travail du chercheur :

Nous l'avons déjà dit, l'objectif du GANIL est d'étudier par l'expérience les états extrêmes des noyaux, afin d'explorer la nature fondamentale de la matière nucléaire. Mais un problème se pose : il est impossible d'observer directement le noyau en raison de sa faible dimension, voisine de  $10^{-13}$  cm. La méthode employée est donc la suivante : il faut soit agir sur le noyau et déduire sa structure des conséquences de la perturbation engendrée, soit, s'il est radioactif, comprendre sa structure à partir de l'observation de son mode de radioactivité. Ces deux études ont pour nom la physique des noyaux chauds et la physique des noyaux exotiques. Pour mener à bien l'expérience, des noyaux projectiles sont lancés à très grande vitesse sur une cible constituée d'une mince feuille de matière. Une interaction entre les noyaux résulte du choc, et des détecteurs placés autour de la cible mesurent les différents produits issus de cette collision. Ces collisions peuvent être classées selon leur « paramètre d'impact », distance qui sépare les centres des noyaux projectiles et cibles au moment de la collision.

---

<sup>7</sup> Annexes 3 et 4, plan général des aires expérimentales et photographies des dispositifs expérimentaux

## 6 / L'étude des noyaux chauds :

Revenons au paramètre d'impact. Si celui-ci est très faible, la collision sera frontale et donc très violente. Une grande partie de l'énergie cinétique du noyau projectile est dissipée sous forme d'énergie thermique donnant naissance à des noyaux chauds, dont la température peut atteindre plus de 100 milliards de degrés. Leur durée de vie est infiniment courte, de l'ordre de  $10^{-22}$  seconde. L'enjeu fondamental de cette physique des noyaux chauds est de déterminer l'équation d'état reliant les différents paramètres de température, de pression et de densité, pour la matière nucléaire. Le physicien ne peut observer directement ces chocs. Pour remonter au scénario de la collision, il doit mesurer la totalité des débris produits en identifiant leur nombre atomique, leur masse, leur énergie cinétique, collision par collision. Les détecteurs doivent donc couvrir la quasi-totalité de l'espace autour de la cible, avoir une résolution suffisante en énergie mais aussi en angle d'émission, ainsi que des seuils de détection très faibles afin de détecter au mieux tous les produits de la réaction. Des détecteurs comme ORION, Nautilus, INDRA et TAPS, détecteur franco-allemand, ont été ou sont utilisés pour ces expériences sur les noyaux chauds.

Des indications très intéressantes sur la matière nucléaire sont ainsi obtenues. On a observé que les températures maximales que peut supporter le noyau sans se désintégrer totalement excèdent nettement les prédictions théoriques. L'observation de ces nouvelles voies de désexcitation pose le problème des transitions de phase dans les systèmes quantiques mésoscopiques. Ainsi nous avons accès à un état de la matière qui doit exister dans le cœur des supernovae et des étoiles à neutrons. L'intérêt de ces études est incontestable pour la cosmologie, mais comprendre et mesurer les propriétés de la matière à très haute température et densité sont également une façon de mettre à l'épreuve les modèles théoriques du noyau. Enfin, à l'extrême, le noyau peut se fragmenter en de nombreux et très petits morceaux. Ce processus, appelé « vaporisation » et qui fut observé pour la première fois au GANIL, est un phénomène très rare, puisque les physiciens ont recensé 3 événements sur plus de 10 millions de collisions. Ces avancées expérimentales et théoriques des systèmes nucléaires fortement perturbés ont ouvert de nouvelles voies de recherche. Ces études sont véritablement essentielles pour progresser vers la connaissance de l'équation d'état de la matière nucléaire.

## 7 / Vers l'inattendu : les noyaux exotiques :

Lorsque les paramètres d'impact sont intermédiaires, les collisions entre noyaux sont périphériques et conduisent principalement à la « fragmentation » : les noyaux projectiles et cibles se recouvrent partiellement. Une partie du projectile arrache les nucléons de la cible qui se trouve sur sa trajectoire et forme avec eux une zone

fortement excitée de nucléons qui se désintègre par émission de particules légères. Ainsi, des noyaux exotiques, radioactifs, qui possèdent un fort déséquilibre entre le nombre de neutrons et de protons par comparaison au noyau stable, peuvent être formés parmi ces fragments de projectile ou de la cible. L'étude de ces noyaux est captivante. En effet, la nature des forces entre nucléons est mal connue, et les différentes théories existantes sont basées sur les propriétés des noyaux stables, c'est-à-dire qui existent sur terre. Et ces théories s'affrontent quant à leurs prédictions sur les propriétés des noyaux exotiques. L'expérimentation nous permet d'affiner les modèles théoriques. Mais le physicien ne peut directement étudier la structure d'un noyau exotique : il faut bien entendu le créer et le diriger vers un dispositif expérimental de détection. Il est nécessaire de bien choisir le couple faisceau-cible : il est en effet déterminant pour la production de tel ou tel isotope dans la réaction de fragmentation. Le dispositif SISSI (Source d'Ions Secondaires à Solénoïdes Intense) du GANIL permet une collecte encore plus efficace des produits de réaction. Il faut ensuite filtrer les exotiques parmi la multitude de noyaux stables produits. Cette étape est rendue possible grâce aux différents spectromètres du GANIL : nous pouvons citer le spectromètre en alpha, qui trie et distribue les ions radioactifs dans toutes les salles d'expériences, le SPEG (Spectromètre à Perte d'Énergie GANIL), dont la qualité principale est sa très haute résolution en énergie, et LISE3 (Ligne d'Ions Super Epluchés), dont l'atout majeur est de pouvoir guider des ions très excédentaires en neutrons. On peut également appliquer un tri plus sévère en faisant appel à deux autres procédés, l'un tirant parti du ralentissement des ions par traversée de matière, l'autre utilisant un filtre de Wien, qui combine champ électrique et champ magnétique, et sélectionnant les ions en vitesse. Enfin, on identifie l'ion radioactif par son numéro atomique, sa masse et son taux de comptage à l'aide d'un détecteur. Ces étapes préliminaires franchies, le physicien peut commencer l'étude du noyau soit en l'arrêtant complètement dans la matière pour des mesures de radioactivité, soit en le faisant interagir avec une seconde cible pour des mesures nécessitant une perturbation de ce noyau.

De très nombreux noyaux exotiques ont été synthétisés et étudiés au GANIL. On peut mettre en avant le nickel 48, l'étain 100, qui était activement recherché depuis 25 ans, et le lithium 11, noyau à halo qui remet en cause bien des modèles théoriques. Toutes ces découvertes ont montré l'existence de structures qui font évoluer nos connaissances du noyau. Aujourd'hui, les nouveaux faisceaux de noyaux exotiques produits et accélérés par SPIRAL, couplés aux dispositifs expérimentaux de dernière génération, EXOGAM et VAMOS, font du GANIL un outil unique en Europe pour explorer la structure de la matière dans des états extrêmes. En effet, la physique nucléaire n'a pas épuisé son sujet et de nombreuses interrogations se posent aujourd'hui : quelle est la limite de cohésion des noyaux ? Comment se comporte la matière nucléaire aux confins de la stabilité vis à vis de l'interaction forte ? L'étude des

réactions avec des noyaux exotiques à l'aide de SPIRAL devra apporter des réponses à ces questions fondamentales.

## 8 / Déroulement d'une expérience au GANIL :

Après avoir vu sa proposition d'expérience acceptée par le Comité d'expérience du GANIL et s'être vu attribuée un temps de faisceau, l'équipe de physiciens arrive au laboratoire, installe son matériel propre, prend contact avec le responsable de la salle où se déroulera l'expérience, et attend la production du faisceau.

La naissance du faisceau se produit au sein de la source ECR. La méthode permettant d'arracher un ou plusieurs électrons à un atome pour le transformer en ion consiste à le bombarder avec une grande quantité d'autres projectiles : des électrons. L'atome, subissant ainsi des collisions successives, finit par perdre une partie de ses électrons : il est ainsi ionisé. Pour faire une source d'ions, il faut d'abord créer un gaz d'électrons qui s'agitent dans toutes les directions et à des vitesses suffisantes pour que les collisions soient efficaces. C'est un processus relativement aisé : dans certaines sources, on chauffe un élément qui libère facilement des électrons sous l'effet de la température et on les accélère par un champ magnétique. Ce processus de bombardement s'effectue dans un petit volume dans lequel on introduit un grand nombre d'atomes du type qu'on veut ioniser. Enfin, à travers un petit trou, on extrait par champ électrique les ions ainsi formés. Accélérés, ils sont dirigés par des champs magnétiques. Ce sont plus de mille milliards d'ions qui sont produits chaque seconde par la source. Se déplaçant dans la même direction et à la même vitesse, ils forment le faisceau. Lors de la proposition d'expérience, l'équipe de physiciens doit préciser quel type de faisceau elle souhaite utiliser.

Le faisceau est ensuite accéléré en cascade par les deux cyclotrons. A la sortie de CSS2, il se présente physiquement comme une succession régulière de petits nuages de particules contenant chacun deux millions d'ions au plus. Chaque paquet d'ions est de forme allongée, environ 10 cm de longueur, et mesure quelques millimètres de rayon. Pour les ions les plus légers, leur vitesse atteint 126 000 km/s, soit près de la moitié de la vitesse de la lumière. Un rien pouvant arrêter les ions, ils se déplacent dans un vide à une pression inférieure au dixième du milliardième de la pression atmosphérique. Il est obtenu grâce à des pompes mécaniques, turbomoléculaires et cryogéniques. Pour conduire les ions accélérés vers les salles d'expériences, on utilise des dipôles magnétiques pour les dévier et des quadrupôles pour éviter la dispersion des particules du faisceau. Des équipes d'opérateurs travaillant en service continu règlent les 2000 paramètres qui permettent d'obtenir le faisceau demandé par les expérimentateurs.

Une fois dans les salles d'expériences, des appareillages spécifiques détectent les émissions issues des collisions entre noyaux en générant des signaux électriques. Le détecteur, au passage d'une particule, réagit et délivre un signal électrique en une

fraction de nanoseconde, le milliardième de la seconde. Le nombre de paramètres enregistrés peut varier d'une dizaine à plusieurs centaines. Il existe de nombreux détecteurs différents afin de mieux détecter les diverses caractéristiques des différents rayonnements. La construction de ces détecteurs est le fruit de la collaboration entre les laboratoires nationaux et européens. Revenons aux signaux électriques. Ils sont ensuite traités par une électronique adaptée qui a pour but d'amplifier, de filtrer, de sélectionner, de transformer les signaux émis par les détecteurs. Sa finalité est de numériser les signaux en données numériques avant que ceux-ci soient lus par l'ordinateur. L'ordinateur gère à la fois les ordres de lecture de données lorsqu'un événement se produit ainsi que la sauvegarde de ces données. Il permet également d'effectuer des calculs en direct et de contrôler la qualité des données durant l'expérience.

L'expérience terminée, les physiciens retournent dans leurs laboratoires. Ils emportent les enregistrements sur bandes magnétiques et procèdent pendant des mois à l'analyse détaillée des milliards d'informations enregistrées. Ils reconstituent ainsi l'histoire de chaque collision et caractérisent ainsi les propriétés fondamentales Du noyau. Leurs résultats sont alors publiés dans des revues spécialisées, des articles de vulgarisation ou dans des livres.

## 9 / La collaboration interdisciplinaire autour de l'interaction ion-matière :

L'activité fertile du CIRIL, le Centre Interdisciplinaire de Recherche Ions LASER, témoigne de la vitalité des études sur l'interaction ion-matière, la physique atomique et la matière condensée. GANIL est un outil de tout premier plan pour la communauté de chercheurs concernée grâce à la qualité et la diversité des faisceaux d'ions disponibles, associées à l'implantation sur les lignes de faisceaux d'équipements spécifiques de détection. Des progrès remarquables ont été accomplis au GANIL dans la compréhension des mécanismes élémentaires du dépôt d'énergie par excitation électronique, comme dans la description des effets qui en découlent. En outre, les faisceaux d'ions lourds offrent, de façon tout à fait spécifique, la possibilité de disposer à la fois d'une grande efficacité d'endommagement et d'un contrôle fin de la densité d'énergie déposée. Ils constituent pour cette raison des outils irremplaçables dans le domaine de l'irradiation. C'est sur cette spécificité que s'appuient les activités auprès des faisceaux du GANIL dans le domaine de l'interaction ion-matière, tant pour la recherche fondamentale que pour la recherche appliquée. Ainsi, de nouvelles lignes de faisceaux voient le jour : citons la Ligne d'Ions Multichargés de Basse Energie (LIMBE) auprès des sources ECR, et la ligne IRRSUD auprès des cyclotrons injecteurs. Dans le même ordre d'idée, les traces créées par les ions lourds sont utilisées pour structurer les matériaux. La réalisation de membranes microporeuses, le radiogreffage

des polymères, l'ancrage de parois de Bloch, l'amélioration des propriétés magnétiques ou supraconductrices des matériaux, sont parmi les applications qui donnent déjà lieu à une importante activité. Des contributions importantes peuvent par ailleurs être apportées à l'étude des problèmes de vieillissement sous irradiation rencontrés dans l'industrie nucléaire. Enfin, l'intérêt des radiobiologistes est fortement motivé par l'extrême efficacité des ions lourds rapides pour endommager de manière irréversible l'ADN et par les applications qui en découlent sur le plan de la thérapie et de la radioprotection. La construction d'un nouveau laboratoire de biologie va permettre d'améliorer encore le développement continu de cette activité. GANIL est ainsi devenu un pôle essentiel pour le maintien et le développement des compétences en matière d'irradiation et de recherche sur l'interaction ion-matière.

Le GANIL nous apparaît aujourd'hui comme un exemple d'excellence dans sa réussite à s'adapter à l'évolution des techniques et à l'émergence de nouveaux champs de recherches. Les initiateurs du projet avaient semé les graines de ce succès futur. L'entreprise initiale n'avait pas comme objectif de créer un laboratoire figé, mais un outil de recherche qui saurait s'adapter aux exigences futures. Alors replongeons-nous dans cet univers au sein duquel les pères du GANIL œuvraient à la réussite d'un grand projet national, non sans mal et sans contrainte, mais unis par une même passion : la soif de découvrir les nouvelles frontières de la matière.

# **Chapitre 2**

## **Les origines du projet**

## ***II / Aux origines du projet : une savante alchimie entre restructuration de la recherche et nouvelles possibilités de la physique nucléaire :***

La décision de créer un laboratoire national d'étude en physique nucléaire s'intègre dans un processus complexe de création de nouvelles instances de recherche, de plan de relance de l'économie nationale et de réflexions nouvelles sur la place de la France dans la physique nucléaire des années 80. Examinons ce lent processus qui a débuté à la fin des années 50.

### A / La naissance du premier père du GANIL : l'IN2P3 :

Avant d'aborder l'histoire à proprement parler du GANIL, il est absolument nécessaire de faire le point sur le premier de ses organismes de tutelle, à savoir l'IN2P3. Derrière ce sigle étrange se cache l'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules. Sa création remonte au décret du 14 avril 1971. Mais l'idée de créer cet institut date de la fin des années 50. Sa création demandera plusieurs années au cours desquelles les discussions furent âpres et tendues, dans un contexte budgétaire difficile pour la recherche fondamentale, la recherche appliquée militaire ayant la préférence de l'Etat en raison de la situation politique internationale et des choix du gouvernement français. Mais pourquoi nous intéresser à cette naissance ? Parce que la structure administrative et scientifique du GANIL est directement issue de celle de l'IN2P3. Nous ne pouvons laisser de côté l'origine de l'IN2P3, puisqu'elle explique le choix des structures du GANIL. Nous reprendrons donc les grandes idées de l'étude de Laurent Beauvais, l'actuel Secrétaire général du GIE GANIL, qui rédigea en 1995 lorsqu'il était Directeur adjoint administratif de l'IN2P3 avec Gérard Darmon<sup>1</sup> un remarquable commentaire sur l'origine et l'évolution de l'Institut dans une œuvre collective intitulée *25 ans de recherche à l'IN2P3*<sup>2</sup>.

### 1 / Quelques réflexions sur la création des instituts du CNRS :

La création des instituts nationaux du CNRS en 1966 s'inscrit dans un contexte riche en réflexions, débats et décisions dans le domaine de la politique nationale de la recherche, grâce à l'impulsion donnée par des institutions nouvelles comme le Comité

<sup>1</sup> Gérard Darmon, Cahiers pour l'histoire du CNRS, n°10, 1990

<sup>2</sup> *25 ans de recherche à l'IN2P3*, Editions frontières, 1996, p. 146 à p. 166

consultatif de la recherche scientifique et technique (CCRST) et la Délégation générale à la recherche scientifique et technique (DGRST).

Tout d'abord, le 22 décembre 1958, une Commission des grands accélérateurs chargée de gérer le crédit spécial mis à la disposition du CNRS est créée en son sein. Cette commission a pour objectif de définir les buts de la recherche en physique nucléaire et physique des particules et de répartir les fonds nécessaires aux outils des deux disciplines, les accélérateurs<sup>3</sup>. Parallèlement, un accord est passé entre le CNRS et le CEA pour que des équipes de chercheurs puissent travailler sur le nouveau synchrotron à protons SATURNE installé au Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay. En effet, à la fin des années 50, la recherche en physique nucléaire entre dans une grande phase de mutation. L'expérimentateur qui travaillait seul dans son petit laboratoire tend à disparaître au profit d'une recherche à gros moyens, aux dispositifs expérimentaux de plus en plus complexes et coûteux<sup>4</sup>. La notion de laboratoire change radicalement de sens. Désormais, on ne parle plus de chercheurs plus ou moins isolés, mais d'équipes de chercheurs qui s'organisent dans une communauté scientifique qui devient internationale.

Sous l'impulsion de son premier président, Charles Sadron, le CCRST lance dès 1959 l'idée d'une réforme des structures des organismes de recherche et donc tout particulièrement du CNRS. Les réflexions débouchent alors sur l'idée d'instituts nationaux de recherche coordonnés par un office distinct du CNRS, l'Office des instituts nationaux de recherche. Mais la Direction du CNRS et les syndicats vont s'opposer farouchement à ce projet, dénonçant le démantèlement qui s'en suivrait. Un comité interministériel de la recherche scientifique et technique rejette d'ailleurs cette première proposition en avril 1959.

Pierre Lelong, nouveau président de CCRST, reprend l'idée des instituts nationaux en 1963. Mais leur création n'est envisagée que pour des missions de coordination et de regroupement dans des secteurs de la recherche qui impliquent des moyens « quasi industriels ». Ces instituts restent alors dans l'orbite du CNRS et permettent d'assurer une meilleure gestion des activités scientifiques.

A la fin de l'année 1963, André Blanc-Lapierre, nouveau président du CCRST, met en place un groupe de travail destiné à définir le rôle de l'Education nationale dans le domaine de la recherche fondamentale. Deux idées maîtresses ressortent de cette commission : le CNRS est confirmé dans son rôle de promoteur des domaines de la recherche fondamentale qui impliquent de grands équipements, et les instituts semblent prendre la direction d'un rattachement au CNRS. Le CCRST propose alors la création de l'INAG (Institut National d'Astronomie et de Géophysique) et de l'INPNPP (Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules), mais aussi celle de

---

<sup>3</sup> Arrêté ministériel du 22 décembre 1958, Archives du CNRS, Gif-sur-Yvette, F 780518, article 50

<sup>4</sup> Michel Pinault, *Frédéric Joliot, la science et la société : un itinéraire de la physique nucléaire à la politique nucléaire, 1900-1958*, Paris, Doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle, 1999

l'ANVAR (Agence Nationale pour la Valorisation de la Recherche) et de l'IRIA (Institut de Recherche en Informatique et Automatique).

Le 12 mars 1965, le Comité interministériel de la recherche prend des décisions sur la gestion et l'organisation du CNRS. Pierre Laurent, nommé en 1964 secrétaire général du ministère de l'éducation nationale, expose ces décisions en juillet 1965. Il parle « des instituts nationaux en nombre évidemment restreint dotés d'une autonomie de degré variable en fonction des besoins et qui pourraient aller dans certains cas jusqu'à l'autonomie financière, voire la personnalité morale ». Moins d'un an plus tard, le 31 mars 1966, un décret fixe les dispositions nouvelles concernant l'organisation du CNRS<sup>5</sup> :

*« Des instituts nationaux du CNRS ... pourront prendre en charge, lorsque la nature ou l'importance de leur activité le requiert, et notamment lorsque cette activité exige la gestion de moyens industriels ou comporte d'importantes opérations de recherche appliquée, d'un ou plusieurs laboratoires existants, ou à les créer, ainsi que des organismes de recherche qui, antérieurement à leur prise en charge, étaient indépendants du CNRS ».*

Ce décret précise également que ces instituts restent sous le contrôle des instances du CNRS (directoire et conseil d'administration). Mais le point déterminant est la référence faite à l'autonomie financière et juridique possible. En effet, la Direction du CNRS redoute encore l'apparition de structures totalement autonomes qui finiraient par causer le démantèlement du CNRS. L'examen du précédent décret devant le Conseil d'Etat fait d'ailleurs débat. Le Ministère des Finances émet également des réserves sur le point particulier de l'autonomie financière. Malgré ces réticences, c'est en 1967 que sont institués, par décret pour l'INAG, avec autonomie financière mais sans personnalité morale, et par une loi pour l'ANVAR, sous la forme d'EPIC (Etablissement public à caractère industriel et commercial) au budget identifié dans celui du CNRS, les premiers instituts du CNRS. La discussion au sujet de l'INPNPP reste à cette date ouverte.

## 2 / La longue gestation de l'IN2P3 :

Les domaines de la physique nucléaire et de la physique des particules demandent aux organismes responsables des grandes orientations de la recherche fondamentale de mettre en avant une conception nationale, voire internationale, tant les moyens mis en jeu dépassent le cadre d'un simple laboratoire. Les installations possédant des grands accélérateurs de particules nécessitent une structure de tutelle à la gestion souple et efficace. Les contraintes de construction et d'exploitation demandent la mise en place d'une véritable logique d'exploitation industrielle et collective.

---

<sup>5</sup> 25 ans de recherche à l'IN2P3, Editions frontières, 1996, p. 152

Les missions fixées pour l'INPNPP semblent respecter cette logique nécessaire<sup>6</sup> :

*« En référence au Comité national, il établit les programmes de développement cohérent des recherches dans le domaine, réalise le programme annuel et répartit les moyens ».*

Il doit également assurer la gestion globale de l'ensemble des laboratoires et notamment celle des personnels techniques, les chercheurs et les enseignants restant sous l'égide du CNRS. Il est aussi chargé de la coopération avec d'autres laboratoires ne dépendant pas de l'Education nationale comme le CEA, le CERN ou des laboratoires étrangers. Ce point est capital pour la création du futur GANIL. En effet, des investissements importants sont prévus dans le domaine de la physique nucléaire : la réalisation d'un accélérateur national d'électrons de 15GeV pour une somme de 235 millions de francs figure dans ces futures dépenses. En outre, il est souhaité qu'une convention soit passée avec le CEA afin de préciser l'utilisation de ce laboratoire national par ses chercheurs. Si ce projet, qui n'a rien de commun avec le futur projet GANIL, mentionné dès les travaux préparatoires du IV<sup>ème</sup> plan (1962-1965) est abandonné en 1968, l'idée de laboratoire national fera son chemin. Ainsi, dès la fin des années 60, le cadre de référence d'un futur laboratoire national est fixé : si nous ne connaissons pas sa forme définitive ni son domaine de recherche, nous savons qu'il aura pour but une meilleure gestion des moyens scientifiques et techniques grâce à l'association des forces du CEA et du futur IN2P3<sup>7</sup>.

Si les principales missions de l'INPNPP, appelé IN2P3 en 1968, apparaissent clairement définies, il n'en est pas de même de la structure administrative et financière de l'organisme. Jusqu'au décret du 14 avril 1971, les discussions au sujet des statuts de l'Institut sont nombreuses et acharnées. Une discussion interministérielle existe entre le ministère de l'Education nationale et la Direction du Budget du Ministère des Finances. Une discussion intense s'installe également entre le CNRS et la Direction des Enseignements supérieurs. Apparaît alors la personnalité de Jean Teillac qui joue le rôle de rapporteur auprès de la direction du CNRS des réunions de travail au Ministère de l'Education nationale. Chevalier de la Légion d'Honneur, Officier de l'ordre national du mérite, il est professeur titulaire à l'université Paris VI depuis 1958, nommé en 1959 dans la chaire de physique nucléaire et radioactivité, et Directeur de la section de physique-chimie de la fondation Curie, Institut du Radium<sup>8</sup>. Il assure également de 1958 à 1969 la direction de l'Institut de physique nucléaire d'Orsay. Ses principaux travaux portent sur la spectroscopie nucléaire des noyaux lourds et des zones de transition, les

---

<sup>6</sup> 25 ans de recherche à l'IN2P3, Editions frontières, 1996, p. 154

<sup>7</sup> 25 ans de recherche à l'IN2P3, Editions frontières, 1996, p. 151

<sup>8</sup> in *La création de l'IN2P3*, Le courrier du CNRS, Interview de Jean Teillac, n°1, juillet 1971, p.10

réactions nucléaires, notamment les réactions de spallation. Une certaine vision de l'institut s'impose assez rapidement à son esprit : il est nécessaire de créer un établissement public distinct afin de réunir, dans une gestion unique et commune, des moyens aux deux tiers universitaires, donc extérieurs au CNRS. Il est alors décidé de placer l'institut au sein d'un autre établissement, en l'occurrence le CNRS. Durant ces années de discussion, deux points fondamentaux sont bien définis : pour assurer les missions définies, l'Institut doit posséder une autonomie de gestion sous la tutelle d'une autorité scientifique.

### 3 / Le décret du 14 avril 1971 :

Ainsi, l'IN2P3 est créé sous la forme d'un Etablissement public à caractère administratif par le décret du 14 avril 1971. Ce choix qui émane du Ministère de l'Education nationale le 14 octobre 1970 répond à la demande de Jean Taillac qui souhaitait que l'IN2P3 fonctionne vite, même au prix d'un statut provisoire. En effet, la physique nucléaire et la physique des particules avaient souffert dans la deuxième moitié des années 60 des faibles dotations budgétaires des ministères de tutelle. Il fallait donc replacer ces thèmes de recherche dans une dynamique nationale afin de pouvoir bénéficier le cas échéant d'importants fonds de soutien de la part de l'Etat. Pour en revenir au statut de l'IN2P3, cet institut possède désormais un conseil d'administration, un budget voté par le conseil, et comme tout organisme de recherche, il dispose d'un conseil scientifique. Dans ce domaine et un an environ après la création de l'IN2P3, un décret du 25 avril 1972 crée un comité de coordination de la recherche en physique nucléaire et en physique des particules. La création de ce comité marque un important effort de coordination de la recherche. En effet, le CEA n'avait pas souhaité s'associer directement à l'IN2P3. Le Commissariat ne désirait pas établir de liens financiers directs avec le CNRS. Le comité, placé auprès du Ministère du Développement industriel et scientifique, sert donc de lien entre l'IN2P3, qui associe désormais les forces du CNRS et des universités, et le CEA, qui dépend lui aussi du Ministère du Développement industriel et scientifique. Une véritable politique de concertation et de coordination nationale de la recherche se met en place, sur un plan d'égalité : en effet, le directeur de l'IN2P3 siège à part entière au sein du comité de coordination aux côtés du Haut-commissaire à l'Energie atomique. Les graines des collaborations futures viennent d'être semées. Un dernier point : le 19 avril 1971, Jean Teillac, qui avait tant œuvré pour l'Institut, est officiellement nommé directeur. En effet, dès 1969, il était le directeur pressenti de l'IN2P3 et il travailla à l'organisation de l'Institut jusqu'au décret du 14 avril 1971. Georges Ricci est nommé directeur adjoint administratif. Quant à Jean Yoccoz, il est établi en tant que directeur scientifique le 20 décembre 1971<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> *25 ans de recherche à l'IN2P3*, Editions frontières, 1996, p. 164

Dès sa première année d'existence, l'IN2P3 se voit confronté au problème qui perdure jusqu'à aujourd'hui : la gestion humaine et financière de ses laboratoires. Comment peut-on assurer le renouvellement nécessaire des équipements de recherche avec des moyens sans réelle perspective d'augmentation ? GANIL est une exceptionnelle réponse à cette équation. Et l'IN2P3 saura assurer son avenir par de telles opérations, qui apparaissent comme le seul moyen de légitimer la création de cet Institut. La collaboration étroite avec le CEA aura par la suite tôt fait de calmer les ardeurs contre cette structure nouvelle qui saura se donner les moyens de renforcer la physique nucléaire et des particules en France.

## B / Le CEA : un atout maître de la physique nucléaire :

Après ces quelques précisions sur les origines et la création de l'IN2P3, nous devons nous attacher au deuxième participant du GIE GANIL : le Commissariat à l'Energie Atomique. En effet, si la forme juridique et administrative du GANIL est proche de l'IN2P3, elle n'en est pas moins proche par certains aspects de la structure de recherche fondamentale du CEA et de sa structure financière, ce qui est une part non négligeable des activités du Commissariat<sup>10</sup>.

### 1/ La création du Commissariat à l'énergie atomique :

Le 18 octobre 1945, l'ordonnance de création du Commissariat à l'énergie atomique, préparée à partir de la proposition de Frédéric Joliot-Curie et de Raoul Dautry, est promulguée par le gouvernement provisoire que présidait le général de Gaulle. Elle déclare ceci<sup>11</sup>:

*« Le CEA est chargé de poursuivre les recherches scientifiques et techniques en vue de l'utilisation de l'énergie atomique dans divers domaines de la science, de l'industrie et de la défense nationale. Il étudie les mesures propres à assurer la protection des personnes et des biens contre les effets destructifs de l'énergie nucléaire. Il organise et contrôle (...) la prospection et l'exploitation des gisements des matières premières nécessaires. Il réalise, à l'échelle industrielle, les dispositifs générateurs d'énergie d'origine atomique. Il fournit au gouvernement toutes les informations concernant l'énergie atomique et ses applications et, notamment, l'éclaire dans les négociations des accords internationaux. Et en général, il prend toutes les mesures utiles pour mettre la France en état de bénéficier de cette branche de la science ».*

---

<sup>10</sup> Il faut citer ici les formidables travaux de Bertrand Goldschmidt : *Le Complexe atomique : Histoire politique de l'énergie nucléaire*, Paris, Fayard, 1980, et *Les pionniers de l'atome*, Paris, Stock, 1987

<sup>11</sup> In 1945-1995 : le CEA a cinquante ans, Les défis du CEA, n°41, septembre 1995, p.3

Cette ordonnance met évidemment l'accent sur la production d'énergie et sur la future force de dissuasion atomique française. Mais la recherche fondamentale n'est pas pour autant délaissée. Bien sûr, elle aura moins d'impact sur le public que la réalisation de la première pile atomique française en décembre 1948, la fameuse Zoé, création qui associe des personnalités comme Frédéric et Irène Joliot, Lew Kowarski et Hans Halban, qui avaient pu rallier l'Angleterre en 1940 sur le conseil du Ministre de l'Armement Raoul Dautry avec le stock d'eau lourde française obtenu de la Norvège, et Francis Perrin. Le premier essai nucléaire français baptisé Gerboise bleue réalisé en février 1960 à Reggane au Sahara a pour effet de faire rentrer la France dans le club des puissances nucléaires militaires et marque autrement les esprits que la mise en service en juin 1952, à Saclay, d'un accélérateur linéaire de particules de type Van de Graaf, suivi en 1954 de la réalisation d'un cyclotron, un accélérateur circulaire, également construit à Saclay. Les premières recherches en accélération d'après-guerre en France sont alors le fait des physiciens du Commissariat.

## 2 / Un grand organisme à la pointe de la recherche fondamentale :

Loin d'être délaissée, la recherche fondamentale est sérieusement envisagée au cours des quelques mois qui précèdent la création du CEA. En effet, Raoul Dautry, Ministre de la Reconstruction et de l'Urbanisme du gouvernement provisoire, s'adresse le 13 mars 1945 au général de Gaulle en ces termes <sup>12</sup>:

*« Il conviendrait que la France se réintroduisit dans le circuit des recherches en formant une équipe de travailleurs qui seraient placés à la disposition et sous l'autorité de M. Joliot-Curie ».*

Anatole Abragam, entré en janvier 1947 au CEA et directeur de la physique de 1965 à 1971 déclarait à ce propos<sup>13</sup> :

*« Nous souffrions encore de l'isolement dû à la guerre, qui nous avait tenus à l'écart des grands progrès réalisés de 1940 à 1945 en physique. Il n'y avait en France, à l'époque, aucun enseignement véritablement actuel de la physique, aucune possibilité de se familiariser avec ce qu'était devenue cette science depuis 1939. Il nous a donc fallu apprendre tout nous-mêmes. Nous étions les ' autodidactes ' de la physique nucléaire. Nous travaillions en équipe de façon simple et non structurée, aussi bien sur les problèmes de réacteurs et d'accélérateurs que sur les théories des particules et les questions de physique nucléaire »*

---

<sup>12</sup> Marie-José Lovérini – *Le Commissariat à l'Energie Atomique*, Paris, Gallimard, 1995, p.68

<sup>13</sup> In *1945-1995 : le CEA a cinquante ans*, Les défis du CEA, n°41, septembre 1995, p.40

Depuis sa création, le CEA est en France et dans le monde un des principaux promoteurs de la recherche fondamentale en physique nucléaire et en physique des particules. Le centre de Saclay apparaît alors comme le fleuron de la recherche fondamentale au CEA. Effectivement, nous l'avons déjà signalé, dès le mois de juin 1952 entre en service à Saclay le premier accélérateur linéaire du centre. Il est complété en 1954 par un accélérateur circulaire, un cyclotron, qui produira des radioéléments pour l'industrie et la médecine. Ces deux machines sont les premières d'une longue série d'accélérateurs, grâce auxquels progresseront nos connaissances dans divers secteurs de la physique du noyau, des particules élémentaires et de l'atome. En octobre 1952 démarre également à Saclay le réacteur de recherche EL2, suivi de son fils EL3 en 1957, puis Osiris en 1966, enfin Orphée en 1980. Ces réacteurs contribueront à la découverte de matériaux pour le secteur nucléaire, et seront également utiles à la recherche fondamentale.

### 3 / La collaboration CEA-CNRS : prémices du GANIL :

Le concept de collaboration entre les différents organismes de recherche français s'établit durant les années 60. Si le CEA n'envisage pas d'intégrer son secteur de recherche fondamentale à l'IN2P3, il accepte néanmoins la notion de participation à la création d'un laboratoire. Ce principe se concrétise en 1971 à Grenoble avec la création de l'Institut Laue-Langevin autour du réacteur à haut-flux de neutrons, le RHF : en effet, cet Institut est créé conjointement par la RFA et la France, autour du couple CEA-CNRS. Le GANIL s'inscrit dans la suite logique de ces accords de coopération. Le GANIL ne sera d'ailleurs pas la dernière étape de ce processus de coopération. En effet, le synchrotron à protons Saturne, mis en service en 1958, destiné à l'étude des particules élémentaires et rénové entre 1974 et 1979, devient en janvier 1978 le laboratoire national Saturne, géré conjointement par le CEA et le l'IN2P3. Il faut noter ici qu'il existait depuis de nombreuses années une logique de collaboration entre les équipes de chercheurs du CNRS et du CEA. Cette collaboration aboutit dans les années 70 à la création des deux laboratoires communs cités plus haut. Nous sommes en droit de penser que la création de l'IN2P3 a grandement aidé à la réalisation de ces « usines à recherche fondamentale ». En effet, le CEA, qui, sous l'impulsion d'André Giraud, administrateur général en 1970, avait vu ses activités de recherches réorganisées au sein de l'Institut de Recherche Fondamentale, l'IRF, sous la direction scientifique de Jules Horowitz, pouvait s'associer à une structure certes proche du CNRS, mais suffisamment indépendante pour que des liens trop directs ne se tissent pas entre le CNRS et le CEA<sup>14</sup>. Le Commissariat voulait à tout prix garder son indépendance. André Giraud a en effet la volonté de réorganiser le CEA autour de deux idées fortes. Il souhaite tout

---

<sup>14</sup> Marie-José Lovérini, *Le Commissariat à l'Energie Atomique*, Paris, Gallimard, 1995, p.116

d'abord filialiser les activités industrielles du CEA : ce projet aboutira en 1976 avec la création de COGEMA. Il espère également dynamiser la recherche fondamentale en réfléchissant à l'évolution future des thèmes de physique et en programmant certains axes de recherche. L'apparition de l'IRF est la preuve de cette volonté. Mais dans une recherche internationale qui demande de plus en plus de moyens, il est nécessaire de trouver des partenaires. L'IN2P3 répondra alors présent à cette forte sollicitation. Le résultat sera spectaculaire. Le GANIL en sera la vitrine.

Maintenant que nous avons abordé les structures fondatrices du GANIL, intéressons-nous à l'état des connaissances dans le domaine des accélérateurs de particules. En effet, les choix technologiques lors de la construction du GANIL sont issus d'un immense travail mené dans le monde entier depuis le début du siècle, qui a pour but de connaître le secret des constituants essentiels du monde qui nous entoure : l'atome et son noyau.

## C / Des outils pour accélérer les constituants de la matière :

### 1 / Histoire des accélérateurs :

L'histoire des accélérateurs de particules remonte à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle et fut marquée à cette période par plusieurs découvertes importantes<sup>15</sup>. Tout d'abord, Wilhem Conrad Röntgen, professeur à Würzburg en Allemagne, découvre les rayons X en 1895 en accélérant dans des tubes à rayons cathodiques des faisceaux d'électrons, avant même l'identification de l'électron par Thomson en 1897. Röntgen obtint d'ailleurs pour cette découverte le prix Nobel de physique en 1901. Nous devons également noter un autre événement important : la découverte par Henri Becquerel en 1896 de l'émission par l'uranium de nouveaux rayonnements. Par la suite, les travaux de Pierre et Marie Curie conduisirent à la découverte de nouveaux corps radioactifs, à savoir le polonium, le radium, le thorium, et à la mise en évidence de trois sortes de rayonnements appelés  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , alpha, bêta et gamma. Rutherford, qui étudia le comportement du rayonnement  $\alpha$  lors de l'impact sur une cible, démontra ainsi que les atomes sont constitués d'un noyau de diamètre relativement très petit contenant la majeure partie de la masse de l'atome. Ce noyau, chargé positivement, est entouré d'un cortège d'électrons dont la charge totale est égale à celle du noyau et de signe opposé. Le rayonnement  $\alpha$  n'est autre que l'émission, par les corps radioactifs, de noyaux d'hélium. En 1919, en utilisant justement l'émission  $\alpha$  du radium, Rutherford bombarda de l'azote et le transforma en oxygène, réalisant ainsi la première « transmutation » de

---

<sup>15</sup> Jacques Fermé, *Les cyclotrons*, Ecole d'introduction à la dynamique des faisceaux et aux accélérateurs de particules, Caen, GANIL, février 1997, p.3 à p.8

la matière. Cette première réaction nucléaire, qui modifiait l'identité des corps simples mis en œuvre ouvrait l'ère de la physique nucléaire.

En parallèle, les accélérateurs d'électrons pour la production de rayons X faisaient des progrès. Malgré tout, les générateurs de tension de l'époque restaient limités à des tensions de l'ordre de 100 à 200 kilovolts. Selpian, avec l'objectif d'accéder à des énergies plus élevées, proposa en 1922 de recourir au champ électrique induit par un champ magnétique variable. Après plusieurs échecs, cette proposition n'aboutit qu'en 1940 à la réalisation d'un accélérateur d'électrons appelé Betatron, nom inspiré du rayonnement  $\beta$  qui est constitué d'électrons, qui fut construit à quelques exemplaires. Cependant, cette réalisation fut rapidement abandonnée car d'autres accélérateurs plus attrayants avaient vu le jour.

C'est en 1927 que l'engouement pour l'utilisation d'accélérateurs de particules dans la recherche nucléaire naquit au sein de la communauté scientifique. Cette année-là, Rutherford, s'adressant à la Royal Society, exprima son espoir que les progrès importants obtenus dans le domaine des accélérateurs d'électrons pourraient être mis à profit pour la construction d'accélérateurs d'ions capables de se substituer aux sources naturelles de rayonnement utilisées jusqu'alors pour les études sur les noyaux. Cette proposition impliquait un certain travail d'adaptation technologique qui demanda quelques années. En 1932, Cockroft et Walton avaient construit un accélérateur électrostatique de 400 kilovolts et furent les premiers à provoquer une réaction nucléaire à partir d'un faisceau de protons accéléré sur une cible de lithium. Malheureusement, les accélérateurs électrostatiques étaient limités par les tensions de claquage. D'autres méthodes avaient donc été recherchées.

Dès 1925, Ising avait lancé l'idée d'un accélérateur composé d'une série d'électrodes alimentées par une tension alternative, qui devait permettre d'atteindre une énergie finale importante, sans devoir mettre en jeu des potentiels élevés. Widerøe, en 1928, construisit un accélérateur sur ce modèle. Ce premier accélérateur à champ alternatif était de faible dimension et de performances fort modestes. Mais la validité du principe de l'accélération cyclique, d'ailleurs utilisé au GANIL, était démontrée, ce qui ouvrait la voie à des réalisations capable de surpasser les accélérateurs électrostatiques.

C'est en s'inspirant des travaux de Widerøe que Lawrence conçut le principe du cyclotron isochrone en 1930. Il démontra qu'un ion possède une période de révolution indépendante de son énergie lorsqu'il est placé dans un champ magnétique uniforme. Cette propriété ouvrait la possibilité d'accélérer de façon répétitive un paquet d'ions à l'aide d'un champ électrique alternatif produit par deux électrodes seulement, à l'intérieur d'un champ magnétique uniforme. La seule condition à respecter était la synchronisation de la fréquence de révolution dans le champ magnétique avec la fréquence accélératrice.

Le premier cyclotron fonctionna en 1931 à l'université de Californie. Construit par S. Livingston, ce cyclotron était de très petites dimensions : 10 centimètres de diamètre. Le

deuxième modèle, mis en service l'année suivante, mesurait 25 centimètres de diamètre et put produire des protons de 1 MeV. Le cyclotron suivant permit d'atteindre en 1936 l'énergie totale en deutons de 8 MeV. Enfin, le cyclotron Crocker, d'un diamètre de 60 pouces, soit 1 mètre 50, fut mis en service en 1939. Ce cyclotron, qui atteignait une énergie de 10 MeV par nucléon était destiné à la production de neutrons pour un usage médical. Ainsi, c'est aux Etats-Unis que les premiers développements de cyclotrons ont vu le jour.

Le Japon se lança aussitôt dans la construction de cyclotrons et un premier faisceau de deutons de 3 MeV fut produit en 1937 à Riken. Un aide appréciable fut apporté par Lawrence à ce laboratoire sous la forme de la fourniture d'une réplique de l'aimant du cyclotron Crocker. Mais la deuxième guerre mondiale devait interrompre ces développements à caractère scientifique.

Au Collège de France, Frédéric Joliot lança en 1936 la construction d'un aimant de cyclotron auprès de la société Oerlikon. L'aimant, livré peu avant le début de la guerre, ne put être définitivement équipé du système radiofréquence qu'en 1945, date à laquelle le premier faisceau fut obtenu. Ce cyclotron a par la suite produit des deutons de 6 MeV et des ions hélium 4 deux fois chargés de 12 MeV d'énergie totale.

Mais très rapidement, les limites en énergie de ce type d'accélérateur furent pressenties par Lawrence et ses collaborateurs. En effet, pour obtenir des trajectoires stables, il était indispensable que le champ magnétique décroisse légèrement en fonction du rayon. Le champ n'étant plus exactement isochrone, la synchronisation avec la tension accélératrice ne pouvait plus être assurée au-delà d'une limite pratique estimée entre 5 et 10 MeV pour des protons. Mais entre-temps, un aimant de grande dimension d'environ 4 mètres 60 avait été commandé dans le but d'atteindre de plus hautes énergies, et le jour même où il fut livré, Lawrence s'interrogea sur la façon de l'utiliser, d'autant plus que l'augmentation de la masse des ions du fait de l'effet relativiste venait aggraver la situation pour ce cyclotron destiné à fonctionner à haute énergie. On avait bien envisagé, pour maintenir le synchronisme d'un paquet d'ions avec le champ accélérateur, de recourir à un mode particulier de fonctionnement qui devait consister à moduler la fréquence accélératrice en synchronisme avec la diminution de la fréquence orbitale des ions qui est la conséquence de la décroissance radiale du champ et de l'effet relativiste. Mais encore fallait-il que les particules d'un même paquet puissent rester groupées longitudinalement pendant les centaines de tours que devait comporter leur accélération, ce qui était loin d'être évident.

La solution fut trouvée en 1945 par Mac Millan et Veksler qui découvrirent le principe de la stabilité de phase, relatif au confinement longitudinal des paquets d'ions sous l'effet d'un champ accélérateur. En effet, on savait que dans un champ non isochrone, en l'absence d'accélération, les ions d'un même paquet ont tendance à se dégroupier dans le sens longitudinal du fait de leur dispersion en énergie. Mais, en présence d'un champ accélérateur, on peut faire en sorte que les particules qui sont en

avance, donc celles qui ont le plus d'énergie, reçoivent moins d'accélération que les particules qui sont en retard. Ainsi, les particules d'un même paquet pourront rester groupées. En utilisant ce principe, le fonctionnement ne pouvait être que discontinu : il fallait donc prévoir des cycles d'accélération. On utilisa alors l'aimant de 184 pouces pour réaliser un accélérateur à haute énergie, caractérisé par un fonctionnement en mode pulsé. Le nom de synchrocyclotron fut donné à ce type d'accélérateur. Celui de 184 pouces atteignit une énergie de 740 MeV. Il fut suivi du synchrocyclotron de 600 MeV du CERN, mis en service en 1957. Créé en 1954 à l'ouest de Genève de part et d'autre de la frontière entre la France et la Suisse, cette institution indépendante constitue un des premiers exemples de collaboration à l'échelle européenne, sa convention constitutive ayant été signé par 12 pays européens dont la France, l'Allemagne, l'Angleterre et l'Italie. Le CERN étudie ce qu'est la matière, ce dont elle est faite et les forces qui la maintiennent agglomérée. Actuellement, il existe un peu plus d'une dizaine d'accélérateurs de ce type en fonctionnement, comme par exemple le synchrocyclotron de 200 MeV de l'IPN d'Orsay, transformé en 1989 en centre hospitalier de protonthérapie et qui soigne les cancers de l'œil et les tumeurs cérébrales de plus de 400 patients par an.

En 1952, la théorie des accélérateurs a connu un développement considérable avec la découverte du principe de la focalisation forte. Cette découverte partagée par MM. Courant, Snyder, Livingston et Christofilos permettait une amélioration considérable des performances des cyclotrons. La construction de cyclotrons isochrones expérimentaux basés sur ce principe fut très rapidement entreprise aux Etats-Unis, et cela dans le plus grand secret. En effet, ces cyclotrons, conçus pour accélérer des électrons, devaient permettre d'atteindre des vitesses de particules élevées à moindre frais. Le succès immédiat de ces cyclotrons permit de valider le principe de variation azimutale du champ pour assurer le fonctionnement isochrone. Il fallut attendre plusieurs années pour que ces résultats soient rendus publics. En effet, dans un contexte de guerre froide, toutes les informations concernant la physique nucléaire sont jalousement protégées par le cachet du secret défense. Les années 60 voient la mise en service de nombreux cyclotrons isochrones de dimensions modestes dans divers pays. Mais ces années voient également le développement de l'exploration de la matière nucléaire grâce à des faisceaux d'ions lourds, l'outil de connaissance du GANIL. A la fin des années 60, les physiciens ressentent le besoin d'une nouvelle machine, un accélérateur d'ions lourds, qui apparaît alors comme imposant, complexe et coûteux. Mais cette machine est absolument nécessaire pour obtenir des renseignements nouveaux sur la structure de la matière nucléaire : ces conditions ouvrent la voie au futur projet GANIL. Ce qui fera une des grandes forces de ce projet, c'est la communauté de scientifiques qui se retrouve derrière la réalisation du futur projet GANIL.

## 2 / Les ions lourds au début des années 70 :

Avant d'entrer dans le cœur du projet, revenons tout d'abord sur la notion d'ions lourds<sup>16</sup>. Nous l'avons vu, un ion est un atome auquel un ou plusieurs électrons ont été arrachés. Puisqu'une ou plusieurs charges négatives manquent, l'ion est chargé positivement. Grâce à cette charge, il peut être accéléré par une différence de tension électrique. Le proton est l'ion positif de l'atome d'hydrogène. C'est un cas particulier puisque l'unique électron est parti, laissant le noyau d'hydrogène sans entourage électronique. Nous l'avons également vu, les particules  $\alpha$ , émises par les atomes radioactifs, sont des atomes d'hélium ayant perdu ses deux électrons. Ces ions, qui sont des noyaux nus de la taille des constituants du noyau des atomes plus complexes sont, par convention, appelés ions légers. Ce sont eux qui ont été utilisés pendant des décennies comme sonde d'études de la structure nucléaire. C'est dans les années 60 que les physiciens commencent à utiliser des projectiles de taille plus grande. Ces ions sont appelés ions lourds : ils englobent tous les ions de numéro atomique supérieur à 2. C'est une définition arbitraire qui vient du fait que l'on ne savait autrefois accélérer que les protons et éventuellement les particules  $\alpha$ <sup>17</sup>.

Ce qui intéresse alors les physiciens, c'est donc la rencontre entre 2 noyaux. Il apparaît que la rencontre entre deux ensembles de nucléons entraîne des collisions riches en possibilités. Grâce aux nouvelles méthodes de traitement informatique des données, les physiciens peuvent enregistrer une multitude de données qu'ils pourront par la suite interpréter. Ces informations donnent des éclaircissements nouveaux sur la matière nucléaire, sur ses propriétés collectives, et dépassent ainsi le champ d'action de la physique des particules.

Mais pour qu'un noyau rentre en contact avec un autre noyau, ils doivent se rapprocher. Chaque noyau a la charge positive de ses protons. Deux charges positives se repoussent et ceci de façon inversement proportionnelle au carré de la distance. C'est la loi établie par Coulomb. Pour obliger deux noyaux à se rapprocher, il faut vaincre cette force répulsive dite coulombienne. Mais plus les noyaux sont lourds, plus ils sont chargés et plus la répulsion est grande. Il faut alors donner aux noyaux une vitesse très grande. L'approche d'un noyau cible sera de plus en plus freinée par la répulsion des charges, mais si l'énergie de départ est suffisante, la distance d'approche sera telle que les deux masses nucléaires entreront en contact et pourront réagir en donnant lieu à de très nombreux et intéressants phénomènes, puisque la densité de matière dans cette région d'interaction correspond à plusieurs tonnes par  $\text{cm}^3$ , au lieu de quelques grammes par  $\text{cm}^3$  que nous connaissons pour la matière à l'état normal.

---

<sup>16</sup> in *GANIL, une machine pour la physique nucléaire des années 80*, La Recherche, n°61, novembre 1975, p.67

<sup>17</sup> Marc Lefort, *Grand Accélérateur National à Ions Lourds de Caen*, Orsay, septembre 1975, p.1 à p.6

### 3 / Schéma de principe de l'accélération grâce à un cyclotron :

Nous prendrons la date de 1972 pour référence parce que cette année marque la création du groupe de travail chargé d'étudier les possibilités de développement de la physique des ions lourds et de présenter un avant-projet d'accélérateur national. Mais revenons à l'accélération<sup>18</sup>. Nous disposons à l'origine d'atomes qu'il faut transformer en ions lourds. Pour cela, il faut provoquer une décharge électrique dans un volume de gaz. Le courant intense des électrons de la décharge arrache des électrons aux atomes de gaz et les ions positifs sont extraits. L'appareil est une source d'ions dont la technologie a beaucoup progressé au cours des années 60 et au tout début des années 70. C'est grâce à ces progrès que l'on peut à cette date enlever plusieurs électrons non seulement à l'hélium ou au carbone, mais aussi à presque tous les éléments jusqu'à l'uranium.

Lorsque les particules sont chargées, le principe de l'accélération devient plus simple. Une différence de potentiel électrique de 1 volt appliquée à une charge élémentaire donne une énergie cinétique de 1 électron-volt. Si l'on veut une énergie cinétique de plusieurs millions d'électrons-volts, comme cela est nécessaire pour la rencontre des noyaux, il suffit de millions de volts. Mais comment tenir de telles tensions ? Le problème a été résolu en appliquant aux particules des accélérations successives. Au lieu de fournir d'un coup l'énergie, on conserve les ions dans une enceinte et on s'arrange pour leur fournir une suite d'impulsions. Dans un cyclotron, l'énergie obtenue est d'autant plus grande que la charge de l'ion est plus élevée, mais elle est inversement proportionnelle à la masse. On a donc intérêt, surtout pour les éléments les plus lourds, à éplucher le plus possible l'atome de ses électrons, donc à créer au départ un ion multichargé. En 1972, les sources disponibles ne peuvent le faire. On imagine alors le processus suivant : avec une source d'ions, on produit des ions faiblement chargés. Ces ions sont ensuite portés à une certaine énergie par un premier étage d'accélération. Ils traversent alors à grande vitesse une mince feuille de matière dans laquelle les électrons leur sont arrachés. Ces ions acquièrent ainsi un potentiel encore plus grand. Ces atomes « épluchés » donc très chargés sont repris par un deuxième étage d'accélérateur et portés à une énergie très élevée, puis dirigés vers les dispositifs expérimentaux. Cette méthode est utilisée avec plusieurs variantes selon les laboratoires de recherche.

### 4 / Le parc mondial des accélérateurs d'ions lourds en 1972 :

Commençons ce tour d'horizon par la France<sup>19</sup>. A cette époque, l'accélérateur de l'IPN d'Orsay du CNRS, Alice, est la première machine à fournir un faisceau d'ions lourds krypton dépassant 400 MeV. L'idée d'une telle machine est née en 1961 et la

---

<sup>18</sup> Marc Lefort, *Pourquoi accélérer des ions lourds*, Caen, GANIL, 1978

mise en œuvre date de 1965. Le cyclotron à ions lourds d'Orsay, de 2 mètres de diamètre, a été rendu opérationnel à la fin de 1966. Ses performances étaient limitées aux ions néon de 5 MeV par nucléon, avec les sources d'ions classiques. L'idée originale a été de remplacer cette source par une feuille de carbone très mince, et de faire entrer dans le cyclotron un faisceau préaccélééré à 1 MeV par nucléon, ce faisceau venant bombarder la feuille. Le passage à travers ce « rideau » d'atomes épulche les ions et accroît considérablement leur charge. Au centre du cyclotron, il est alors possible d'utiliser ces ions multichargés qui acquerront ensuite au cours de l'accélération une énergie proportionnelle au carré de la charge.

Le service d'Electronique Accélérateur de l'IPN d'Orsay, sous l'impulsion des ingénieurs A. Cabrespine, C. Bieth, M.P. Bourgarel et C. Goldstein, a donc prévu la construction d'un injecteur linéaire de faibles dimensions, moins de 10 mètres, capable de porter les ions produits par une source d'ions classique à une énergie de 1 MeV par nucléon. Ces ions sont ensuite conduits jusqu'au centre du cyclotron par un système d'aimants et de lentilles. Après la traversée de la cible, la charge devient beaucoup plus élevée et le cyclotron atteint une énergie de plus de 5 MeV par nucléon. En 1972, cet ensemble fonctionne depuis quelques mois, et c'est la seule machine susceptible de fournir des ions très lourds. Mais elle montrera très vite ses limites quant à l'accélération des ions de masse supérieure à 100. C'est malgré tout une machine très originale par son utilisation en cascade d'un accélérateur linéaire et d'un cyclotron associé à une mince feuille de matière.

En effet, l'accélérateur linéaire, initialement utilisé pour les électrons, puis les protons, fut adapté aux ions lourds. Le principe est le suivant : les ions sont accélérés dans une cavité par une onde électromagnétique. La structure des tubes de glissement (longueur entre deux tubes) est directement liée à la vitesse des particules. Un accélérateur linéaire donne la même énergie pour tous les ions qu'il est capable d'accélérer. Les ingénieurs et physiciens du CNRS qui collaborent à ces différents projets emmagasinent ainsi une foule de connaissances qu'ils utiliseront pour réaliser le GANIL. Mais la France n'est pas la seule nation intéressée par ces recherches.

Les accélérateurs linéaires de Berkeley et de Yale aux Etats-Unis fournissent en 1972 depuis plus de 10 ans des faisceaux de carbone, azote, oxygène, néon à une énergie de 10 MeV par nucléon. Ils ne peuvent accélérer des ions plus lourds car les sources d'ions ne produisent pas de particules suffisamment multichargées et la vitesse d'entrée des ions dans la cavité du linéaire étant trop faible par rapport à la vitesse de la lumière (vitesse de l'onde électromagnétique). Le problème est une nouvelle fois de trouver un moyen de disposer d'ions à charge plus élevée.

Il existe également à cette période des cyclotrons à ions lourds à Dubna en URSS, à Oak Ridge aux Etats-Unis et bien entendu le cyclotron d'Orsay, qui délivrent

---

<sup>19</sup> Marc Lefort, *La construction de GANIL*, plaquette explicative, Caen, GANIL, avril 1976, p.1 à p.9

principalement des faisceaux de carbone, d'azote et d'oxygène de 5 à 10 MeV par nucléon grâce aux sources d'ions développées en URSS sous l'impulsion de Kurchatov.

Les accélérateurs Tandem Van de Graaf sont également utilisés pour la production d'ions lourds lithium, bore, carbone et même oxygène, particulièrement à Yale et à Heidelberg. La source fournit alors des ions négatifs, accélérés par la différence de potentiel d'une dizaine de millions de volts. Les atomes ainsi portés à 10 MeV traversent une cible mince dans laquelle ils perdent non seulement leur électron supplémentaire, mais aussi plusieurs électrons du cortège, de sorte qu'ils sont transformés en ions positifs. Une deuxième différence de 10 millions de volts, négative cette fois-ci, accélère ces ions de 30 ou 40 MeV. On peut atteindre ainsi au total 40 à 50 MeV, énergie seulement suffisante jusqu'à l'hydrogène. Il apparaît ainsi que les accélérateurs d'ions lourds en fonctionnement au début des années 70 s'avèrent incapables d'accélérer tous les ions jusqu'à l'uranium. Et pourtant la communauté scientifique de la physique nucléaire montre à cette période un intérêt croissant pour ce type de recherches. Cette curiosité nouvelle a suscité la naissance de nombreux projets de machines à ions lourds dépassant de loin les possibilités des machines à ce moment disponibles. Malgré la récession ressentie à l'échelle mondiale, certains de ces projets sont adoptés et financés. GANIL fera partie de ces grandes entreprises. Mais il fut précédé par certaine réalisation que nous allons maintenant évoquer.

### 5 / De grands projets d'accélérateurs d'ions lourds :

A cette époque en U.R.S.S., de gros efforts sont faits pour que le cyclotron de Dubna, de diamètre supérieur à 3 mètres, accélère des ions les plus chargés possibles grâce à une source spécialement étudiée. Mais le principal projet fait état de la reconstruction totale de ce cyclotron afin de le porter à un diamètre de plus de 4 mètres et d'augmenter l'induction de façon à accroître l'énergie.

En 1972, le projet américain d'accélérateur d'ions lourds se trouve dans sa phase terminale. Le but de l'entreprise est de transformer l'accélérateur linéaire HILAC du Lawrence Berkeley Laboratory de l'université de Californie en un SuperHilac. A partir de la plate-forme de la source d'ions, portée à 3 millions de volts, une première structure accélératrice de 18 mètres de long acceptera les ions jusqu'à l'uranium. Un « stripper », système de feuilles ou de rideau gazeux où aura lieu l'épluchage, transformera ces ions en particules beaucoup plus chargées qui pénétreront dans une seconde cavité de 33 mètres spécialement étudiée pour atteindre des vitesses très grandes. C'est un projet fort attendu à cette époque qui se base quant à lui sur le principe de fonctionnement des accélérateurs linéaires.

Enfin, la seule machine entièrement nouvelle, conçue spécialement pour l'accélération des ions lourds, a été financée en RFA pour 80 millions de marks et doit être construite à Darmstadt, près de Francfort. Cet accélérateur est encore basé sur le

principe de plusieurs structures linéaires différentes et séparées par des dispositifs de stripping. Le nom d'UNILAC est donné au projet dont la réalisation devrait s'achever en 1974-1975. A cette date, Marc Lefort, premier directeur du GANIL, déclare que cet accélérateur sera de beaucoup l'accélérateur le plus puissant capable de fournir de grandes intensités d'ions de grande énergie et à n'importe quelle place de la classification périodique des éléments de Mendeleïev. L'originalité et la spécificité du projet résident dans le dernier étage d'accélération qui est composé d'une large structure de 17 mètres suivie d'une chaîne de 20 cavités résonantes. Le tout aura 100 mètres de long. C'est la machine des années 70. Evoquons enfin en quelques lignes la place du CEA dans cette course aux accélérateurs. Cet aspect est capital : en effet, le projet GANIL fut mené à bien grâce à la grande compétence des ingénieurs et physiciens du CEA et du CNRS et à leur expérience acquise sur les divers accélérateurs.

## 6 / Les accélérateurs du CEA :

Nous l'avons déjà évoqué, un premier accélérateur de particules, d'une énergie de 2 MeV, fut construit au CEA en 1952 sur le modèle conçu par le physicien américain Robert Van de Graaf : il est doté d'un champ électrique continu pour accélérer en ligne droite des électrons groupés en faisceau. Lorsque ce faisceau atteint l'énergie et la vitesse souhaitées, il est projeté sur une cible. Grâce à cet appareil, d'importantes études sont menées sur l'énergie des protons, le ralentissement des neutrons, les seuils de réactions nucléaires<sup>20</sup>.

Le même principe prévaut pour le Tandem Van de Graaf qui prend le relais en 1968. Mais il permet d'atteindre une énergie plus élevée, de l'ordre de quelques dizaines de MeV. Dans les années 70, il sera converti en accélérateur d'ions lourds.

L'accélérateur linéaire de Saclay de 300 MeV, l'ALS, qui date de 1969, améliore le dispositif précédent. Il est alors le plus puissant du monde dans sa catégorie. Il est équipé d'un grand nombre de cavités placées en ligne droite, dans lesquelles un champ électromagnétique stationnaire propulse le faisceau d'électrons. La cohérence entre l'orientation de ce champ et celle du faisceau permet aux électrons de gagner de l'énergie en accélérant leur course jusqu'à une vitesse proche de celle de la lumière.

En 1954, c'est un cyclotron qui rentre en fonctionnement à Saclay, suivi le 6 novembre 1958 par la mise en service du synchrotron Saturne, le plus puissant d'Europe. Puis en 1963, c'est un cyclotron à énergie variable qui rentre en service actif, auquel succèdent les accélérateurs linéaires déjà cités. Parallèlement, le CERN est fondé en 1952, et son premier synchrotron rentre en service en 1959 à Genève. Le CEA y apporte toute son expérience. Ainsi, les ingénieurs du CEA acquièrent une expérience exceptionnelle et irremplaçable dans tous les domaines techniques qui touchent aux

---

<sup>20</sup> In 1945-1995 : le CEA a cinquante ans, Les défis du CEA, n°41, septembre 1995, p.46 et 47

accélérateurs de particules. GANIL bénéficiera à tous les points de vue de cette expérience.

Ainsi, de nombreuses et très importantes études concernant l'évolution de la physique nucléaire ont montré dans les années 60 et au début des années 70 qu'une des voies privilégiées de cette évolution était la physique des ions lourds. A cette époque, les faisceaux d'ions lourds produits par des accélérateurs Tandem ou des cyclotrons commencent à donner des informations plus complètes sur les propriétés de la matière nucléaire. Les résultats sont particulièrement significatifs à l'IPN d'Orsay, et les travaux se poursuivent dans toute la France à Strasbourg, Grenoble, Lyon et Bordeaux. Cependant, ces accélérateurs sont limités en énergie et en intensité, ce qui prive les physiciens d'informations nouvelles et plus détaillées. Différents pays ont décidé en 1972 de financer de grands projets d'accélérateurs d'ions lourds : Dubna en U.R.S.S., Daresbury en Angleterre, Darmstadt en R.F.A. et Berkeley aux États-Unis. Les physiciens français comme Louis Néel, Marc Lefort, Jean Teillac savent alors qu'il en va de la place de la France au sein de la communauté internationale de la recherche fondamentale en physique nucléaire. Les deux organismes en charge de cette recherche, le CEA et le tout jeune IN2P3, vont alors initier un grand projet d'accélérateur national. Il aura valeur de renouvellement pour le CEA, et valeur de légitimation pour l'IN2P3. C'est ce projet et sa réalisation que nous décrirons maintenant.

# **Chapitre 3**

## **Le projet GANIL**

### ***III / Le projet d'un grand accélérateur national d'ions lourds : vers la machine de physique nucléaire des années 80 :***

Par note conjointe du 22 novembre 1972, les directions compétentes du CEA et de l'IN2P3 donnent mission à un groupe de travail d'étudier les possibilités de développement dans le domaine de la physique des ions lourds et, en particulier, de présenter un avant-projet d'accélérateur national. Les études de ce groupe sont alors consignées dans un rapport déposé en juillet 1973 qui porte le nom de « premier livre bleu ». Ce compte rendu représente la base du projet GANIL<sup>1</sup> ; nous l'analyserons donc en détail.

#### A / Un cahier des charges de la physique des années 80 :

##### 1 / La mission donnée au groupe de travail :

Dès l'introduction du rapport de perspective, les membres du groupe de travail mettent l'accent sur la nécessité de donner vie à ce projet d'accélérateur<sup>2</sup>:

*« La construction d'un accélérateur national ayant des performances adaptées quant à la gamme des ions accélérés, l'énergie, les qualités de faisceaux et l'intensité, apparaît comme une nécessité fondamentale »*

C'est dans le but de mettre en forme un tel projet qu'un groupe de travail est formé en décembre 1972 sous l'égide de la DGRST par le CEA et l'IN2P3. Il est formé d'ingénieurs et de physiciens du CEA et du CNRS dont voici la liste : MM. Armbruster, Baron, Bieth, Melle Bourgarel, MM. Cabrespine, Catillon, Chabert, Détraz, Didier, Faure, Fermé, Fernandez, Frick, Gendreau, Gusakow, Harar, Lefort, Loiseaux, Martinot, Mermaz, Michaudon, Sergolle. Jules Horowitz, alors délégué à la Recherche scientifique du CEA, et Jean Taillac, Directeur de l'IN2P3, avaient alors défini clairement la mission du groupe de travail. L'étude devait avoir pour but de<sup>3</sup>:

---

<sup>1</sup> *Rapport du groupe de travail pour l'accélérateur national à ions lourds*, GANIL, 1973, 107 pages, Documentation GANIL

<sup>2</sup> *Rapport du groupe de travail pour l'accélérateur national à ions lourds*, p.1

<sup>3</sup> *Rapport du groupe de travail pour l'accélérateur national à ions lourds*, p.2

- ↪ « Préciser les qualités des faisceaux demandés par les différents aspects de la physique des ions lourds ainsi que les limitations intrinsèques des mesures expérimentales pour chacun de ces aspects »
- ↪ « Etablir une étude comparative et critique des différentes machines à ions lourds considérées par le Groupe de Travail comme intéressantes, en dégageant clairement les avantages et les inconvénients respectifs »
- ↪ « Présenter, en plus des solutions optimales du point de vue du programme de physique des ions lourds, des solutions éventuelles de moins bonnes performances, mais nettement moins coûteuses du fait qu'elles utilisent des éléments déjà existants en France : machines, bâtiments ou équipements »
- ↪ « Evaluer approximativement les coûts des solutions proposées, en distinguant le coût de la machine et de son bâtiment, des aires expérimentales, du gros équipement ; évaluer aussi le coût annuel du fonctionnement de la machine, et le personnel non physicien nécessaire. Au cas d'une installation sur un site nouveau, évaluer le coût de l'infrastructure nécessaire »

Ainsi, il est très clair que ces études ne rentrent pas dans le simple cadre d'un rapport de prospective, mais ont pour objectif la réalisation d'un nouveau laboratoire doté d'une machine nouvelle aux performances bien supérieures à celles de l'accélérateur Alice ou des accélérateurs Tandem de Strasbourg, Orsay et Saclay bientôt adaptés aux ions lourds. Environ 6 mois plus tard, en juillet 1973, le groupe de travail rend son rapport.

## 2 / Les conclusions du groupe : l'avant-projet GANIL :

Le rapport du groupe de travail a principalement pour objet de recommander un type de solution technique pour la construction d'un accélérateur d'ions lourds. Les études ont donc porté sur les perspectives de développement de la physique des ions lourds, et sur les choix technologiques propres à assurer ce développement.

Le rapport commence par faire le point sur les études menées jusqu'alors grâce aux ions lourds <sup>4</sup>:

*« Lors des deux dernières décennies, la physique des ions lourds a permis, à l'aide d'accélérateurs donnant des faisceaux de qualité médiocre, de créer les transuraniens, de produire des noyaux exotiques, de réaliser des expériences variées d'excitation coulombienne, d'étudier la spectroscopie des noyaux déformés, de*

---

<sup>4</sup> Rapport du groupe de travail pour l'accélérateur national à ions lourds, p.9

*suggérer les premiers mécanismes des réactions de transfert d'un ou de plusieurs nucléons. Plus récemment, alors que l'on pensait encore que les meilleures sondes pour l'investigation de la structure des noyaux étaient les projectiles à très petit nombre de nucléons, il est apparu que l'utilisation de faisceaux d'ions lourds de bonne résolution offraient des moyens originaux. En effet, l'observation de certaines règles de sélectivité a permis de constater que, non seulement ces projectiles n'introduisaient pas un grand nombre de degrés de liberté, mais encore qu'ils permettaient de mettre en évidence des corrélations entre nucléons jusqu'alors insoupçonnées. De plus, l'intérêt croissant créé par les études du comportement dynamique de la matière nucléaire fait des ions lourds et très lourds des outils de choix pour mieux comprendre les phénomènes d'inertie et de compressibilité des noyaux et pour produire de nouvelles espèces nucléaires situées loin de la vallée de stabilité : noyaux exotiques et superlourds. »*

Le décor de la physique nucléaire des années 70 est ainsi planté. Des découvertes très intéressantes ont été faites et le sujet est loin d'être épuisé. Cependant, un problème de taille subsiste pour les physiciens <sup>5</sup>:

*« Pour l'ensemble de ces objectifs, les accélérateurs actuels sont insuffisants, car ils ne fournissent ni la gamme de projectiles souhaités du bore à l'uranium, ni l'énergie, ni l'intensité, ni la résolution indispensables »*

Une voie royale est ainsi ouverte au projet GANIL. La physique nucléaire apparaît comme limitée quant à certains thèmes de recherche fondamentale en raison des accélérateurs disponibles. Une nouvelle machine résoudrait le problème <sup>6</sup>:

*« Les moyens technologiques existent maintenant pour effectuer un bond en avant de très grande envergure, à partir des bases fournies par les travaux précédents. En donnant les moyens d'accélérer, à plus de 50 MeV par nucléon, tous les ions jusqu'à l'argon, et à plus de 10 MeV par nucléon, tous les ions jusqu'à l'uranium, en fournissant des faisceaux intenses de très haute résolution, le projet GANIL devrait bouleverser notre acquisition de connaissance en matière de sciences nucléaires. Presque tous les secteurs actuellement connus seront renouvelés et des domaines vierges seront ouverts. »*

Les thèmes que les physiciens pourront renouveler ou aborder grâce à ce nouvel accélérateur sont ensuite développés. Il s'agit :

---

<sup>5</sup> Rapport du groupe de travail pour l'accélérateur national à ions lourds, p.10

<sup>6</sup> Rapport du groupe de travail pour l'accélérateur national à ions lourds, p.11

- ↪ **Des études dynamiques et des mécanismes de réaction :** diffusions élastiques et inélastiques, réactions de transfert quasi-élastiques, études des phénomènes de fusion et de fission induits par les ions lourds.
- ↪ **Des études sur la structure du noyau :** spectroscopie à l'aide de réactions directes de transfert d'un ou de plusieurs nucléons, excitation coulombienne, spectroscopie  $\gamma$  en ligne, effet Doppler
- ↪ **Des études sur les nouvelles espèces nucléaires :** synthèse de noyaux exotiques, recherche de noyaux superlourds.

Il faut noter que tous ces thèmes de physique seront abordés au GANIL. Mais l'importance des thèmes variera avec le temps. Si la recherche des noyaux exotiques grâce à un spectromètre est évoquée, elle n'a pas en 1972 l'importance des études dynamiques ou des études des mécanismes de réaction. Pourtant, quinze ans plus tard, ces thèmes auront la même place dans la recherche. Les exotiques font d'ailleurs la réputation du GANIL aujourd'hui.

### 3 / Les caractéristiques optimales de l'accélérateur d'ions lourds :

Le groupe de travail a décidé de fixer une norme GANIL qui correspond aux exigences minimales pour les futurs développements de la physique des ions lourds<sup>7 8</sup>:

- ↪ **L'énergie :** le domaine en énergie des ions à accélérer de l'hélium à l'uranium s'étend de 3 MeV par nucléon jusqu'à une énergie minimale de 30 MeV par nucléon pour les ions légers et décroissant jusqu'à 8 MeV par nucléon pour l'uranium.
- ↪ **L'intensité :** Le flux reçu par une cible solide est limité par l'échauffement que cette dernière peut supporter. Ce flux varie de  $10^{12}$  p.p.s (particules par seconde) pour les ions légers à  $6 \times 10^{10}$  p.p.s. pour l'uranium. Il est en outre nécessaire de disposer de  $10^{13}$  p.p.s. pour les faisceaux d'ions légers dépourvus de bonnes qualités de résolution et d'émission.
- ↪ **La résolution du faisceau sur cible :** la résolution doit être de l'ordre de  $4 \times 10^{-4}$  pour les ions de masse atomique inférieure ou égale à 50, et de  $10^{-3}$  pour les ions de masse atomique supérieur à 100.

<sup>7</sup> Rapport du groupe de travail pour l'accélérateur national à ions lourds, p.21 à 25

<sup>8</sup> Annexe 5 , performances prévues du projet GANIL face aux autres accélérateurs

- ↳ **L'émittance** : pour un rapport énergie sur masse atomique égal à 10 MeV par nucléon, l'émittance verticale doit être inférieure ou égale à 30 mm.mrd, et l'émittance horizontale inférieure ou égale à 5 mm.mrd.. Le faisceau doit ainsi être de faible section et aussi parallèle que possible.
- ↳ **La structure en temps de l'intensité du faisceau** : la caractéristique optimale doit être une grande souplesse dans la structure en temps du faisceau qui doit pouvoir aussi bien être le plus continu possible que découpé en bouffées bien isolées de 1 nanoseconde de large.

En plus de ces contraintes, le groupe de travail met l'accent sur le progrès à accomplir dans le domaine de l'épluchage des ions, du vide, absolument nécessaire pour éviter les pertes de faisceau par échange de charges avec le gaz résiduel, et des sources d'ions lourds multichargés, tout particulièrement pour la durée de vie des matériaux utilisés, les feuilles de matière pour le « stripping » et la cathode pour les sources, évaluée pour ce composant à environ 20 à 40 heures de fonctionnement. Ces données de base précisées, le groupe de travail propose maintenant le projet qui a retenu son attention et qui satisfait aux exigences retenues.

#### 4 / Les recommandations du groupe de travail :

Le groupe de travail s'est bien entendu trouvé devant de nombreuses alternatives dont on peut dégager principalement deux lignes directrices. Il était possible de choisir un accélérateur utilisant des techniques nouvelles, demandant de longues études préalables incertaines. Cette voie n'a pas été retenue. Le groupe de réflexion s'est plutôt tourné vers un projet n'employant que des techniques éprouvées. Pourquoi ce choix ? Nous laissons la réponse au groupe de travail <sup>9</sup>:

*« En ce qui concerne les projets nécessitant des études préalables, dont une description rapide et une analyse sont faites dans l'annexe A, il est nécessaire de bien préciser qu'ils ont été écartés, puisque le Groupe de Travail s'est placé dans le cadre d'une décision à court terme. On peut cependant indiquer que les prix de réalisation ne semblent pas très différents par rapport à une solution classique. »*

Ainsi, le groupe de travail avait la volonté de rendre un projet « clés en main » aux organismes de tutelle. Ce choix avait pour avantage d'anticiper un financement définitif. Si l'Etat décidait de donner les fonds nécessaires à la construction de l'accélérateur, le projet serait prêt, et la construction pourrait commencer rapidement. Bien entendu, ce projet n'est pas sans fondement ; le CEA et l'IN2P3 espèrent un financement rapide du

---

<sup>9</sup> Rapport du groupe de travail pour l'accélérateur national à ions lourds, p.49

laboratoire. Mais ne sachant pas quand un nouveau plan de relance de l'économie verrait le jour, et n'ayant pas l'assurance qu'il prendrait en compte les besoins de la physique nucléaire, il était indispensable de posséder un projet fiable qui saurait convaincre les autorités ministérielles en charge de la décision de bailler les fonds.

Le groupe énumère ensuite la liste des techniques éprouvées qui ont été envisagées : accélérateur linéaire, synchrotron, système à deux étages utilisant un cyclotron à secteurs séparés comme deuxième étage. Parmi ces derniers, il est précisé que l'injecteur peut être un cyclotron compact, un autre cyclotron à secteurs séparés ou un accélérateur Tandem 20 MV. Ces différentes possibilités analysées, le groupe de travail rend son verdict <sup>10</sup>:

*« ...[le groupe de travail] recommande une solution fondée sur l'emploi de deux cyclotrons à secteurs séparés. Le groupe d'études n'a pas souhaité, notamment, que la machine nationale utilise un tandem comme injecteur unique, malgré ses remarquables qualités de résolution, émittance et cycle utile, car les intensités qu'il permet d'obtenir sont insuffisantes pour un certain nombre d'expériences. Mais il recommande néanmoins l'adjonction de cet accélérateur comme deuxième injecteur ; il augmente de manière substantielle le potentiel du laboratoire national ainsi constitué, en offrant la possibilité d'utiliser simultanément deux faisceaux aux qualités complémentaires. »*

Le groupe décrit ensuite les raisons du rejet de certains accélérateurs <sup>11</sup> :

*« Rappelons que l'objectif a été de recommander la solution qui nous semblait la meilleure et non pas de condamner tel ou tel type de machine. Le groupe n'a pas retenu la solution accélérateur linéaire, bien qu'elle présente des avantages concernant l'intensité et les énergies pour les ions très lourds, et qu'elle satisfasse aux normes GANIL. Les raisons sont les suivantes : les performances escomptées sont pratiquement identiques à celles de l'UNILAC actuellement en construction à Darmstadt. En particulier, pour les ions légers, les énergies restent limitées à 20 ou 30 MeV par nucléon ; l'accélérateur linéaire a un coût de fonctionnement élevé ; la définition en énergie du faisceau issu de la machine est au mieux de  $10^{-3}$  ; la solution synchrotron n'a également pas été retenue. Le synchrotron proposé donne des énergies et des intensités qui sont à la limite des normes données par le GANIL avec une grande émittance verticale. Il peut certes donner des ions légers de très grande énergie mais aux dépens de l'intensité qui est déjà faible. En résumé ce type d'accélérateur est par principe limité en intensité et c'est pour cette raison, principalement, qu'il n'a pas été retenu. »*

---

<sup>10</sup> Rapport du groupe de travail pour l'accélérateur national à ions lourds, p.50

<sup>11</sup> Rapport du groupe de travail pour l'accélérateur national à ions lourds, p.51

Enfin, les caractéristiques particulières d'un accélérateur utilisant deux cyclotrons à secteurs séparés sont abordées<sup>12</sup> :

*« Le groupe d'études a retenu une solution basée sur deux cyclotrons à secteurs séparés. Les caractéristiques d'une telle solution sont une forte intensité pour les ions légers et moyens. Pour ces mêmes ions, l'énergie maximale est très importante et la définition en énergie peut être très bonne. Pour les ions plus lourds, l'énergie reste acceptable, puisqu'elle est supérieure ou égale à 9 MeV par nucléon ; l'intensité risque cependant d'être limitée par la tenue du stripper. Cette solution ne met pas en jeu de techniques incertaines. Signalons cependant que, de façon générale, l'injection des ions dans un anneau peut représenter quelques difficultés de réalisation qui devraient pourtant être facilement surmontées. Les cyclotrons à secteurs séparés présentent de nombreux avantages, en particulier au niveau de l'extraction, et cette solution a d'ailleurs été retenue pour les machines de Zürich, Indiana, toutes deux en construction, et pour le projet d'Oak Ridge. »*

En résumé, le projet consiste en un ensemble de deux accélérateurs de type cyclotron à secteurs séparés, nommés CSS1 et CSS2, injectant l'un dans l'autre avec un stripage intermédiaire. Deux petits cyclotrons classiques servent de pré-injecteurs aux cyclotrons CSS, ce qui permet à ces derniers de fonctionner séparément et simultanément dans une gamme d'énergie limitée. Nous pouvons ainsi définir quelques grandes dominantes du projet qui seront retenues dans le projet final : il s'agit d'un choix assez original mais qui utilise des techniques avérées. On souhaite également se démarquer du projet de la RFA en laissant de côté le principe de l'accélérateur linéaire. On retient enfin le système mondialement reconnu du « stripping » situé entre les deux machines d'accélération.

### 5 / Paramètres et technique de l'accélérateur :

Le groupe d'études énumère ensuite toutes les caractéristiques détaillées. Ces données très techniques ne sont pas essentielles à notre propos. Nous pouvons tout de même retenir quelques spécificités essentielles. On est tout d'abord stupéfait par la maîtrise technologique des membres du groupe d'études. Théoriquement, mis à part le problème du stripage et des sources, l'accélérateur semble prêt à fonctionner. Les études qui suivront préciseront les paramètres d'utilisation, mais les données de base n'évolueront guère. Le sérieux de cet avant-projet donne de véritables gages de réussite. Un aspect tout à fait spectaculaire est celui des aimants des accélérateurs, qui doivent maintenir grâce à un puissant champ magnétique les ions sur leur trajectoire circulaire. Le projet en prévoit 8 au total, de 4 mètres de hauteur pour un poids unitaire de 1600 tonnes ! Le système accélérateur, à savoir les résonateurs dont la partie accélératrice

---

<sup>12</sup> Rapport du groupe de travail pour l'accélérateur national à ions lourds, p.52

s'appelle dee, est également très impressionnant par sa taille qui avoisine celle des aimants. Les commandes et contrôles de l'accélérateur nous font replonger quant à eux dans l'informatique des années 70, qui semble aujourd'hui venir d'un autre âge, mais qui était à l'époque à la pointe du progrès et qui nécessitait la construction à l'unité d'un ordinateur central. Ce système de commandes est absolument nécessaire au GANIL, puisqu'il doit permettre aux opérateurs de diagnostiquer rapidement la défaillance d'un organe, de connaître à tout moment les conditions de fonctionnement de l'accélérateur, et bien entendu de commander automatiquement les paramètres de réglage de la machine à partir de la connaissance de l'énergie voulue et de la ligne de faisceau choisie.

Ces différents paramètres donnent à la machine des performances en accord avec la norme GANIL, en matière d'énergie, d'intensité, d'émittance et de structure en temps du faisceau.

## 6 / Equipement expérimental et infrastructure :

Les équipements expérimentaux sont à peine abordés. En effet, leur réalisation demande en général moins de temps et moins de développement. Les réflexions sur ces instruments peuvent ainsi commencer lorsque la décision de construire le laboratoire a été prise. Mais le GANIL est un type nouveau d'accélérateur, et les équipements devront donc être renouvelés par rapport à ceux en service dans les différents laboratoires du CEA ou du CNRS. C'est ce que souligne le groupe d'études<sup>13</sup>:

*« Les problèmes d'instrumentation liés à l'utilisation de l'accélérateur national seront certainement variés, complexes et en bonne partie nouveaux. En général, on désirera connaître, pour chaque ion détecté, sa masse, son numéro atomique, son énergie, sa charge effective. Ceci montre qu'il faudra recourir très souvent à des méthodes de détermination simultanée de différentes combinaisons de ces paramètres, et il est probable que, dans nombre de cas, seule la détection en coïncidence de différents produits de réaction permettra de trancher. L'équipement expérimental sera fonction de contraintes différentes suivant les faisceaux, les énergies, etc. Par exemple, avec les ions les plus légers à haute énergie, entre 30 et 100 MeV par nucléon, une résolution en énergie de l'ordre de  $10^{-4}$  doit être le but à atteindre. Elle permettra une étude de niveaux individuels des noyaux. Avec les ions très lourds, la résolution en énergie sera limitée par la résolution du faisceau, les pertes d'énergie dans les cibles, si bien que l'on ne peut espérer mieux que quelque  $10^{-3}$ . »*

Suite à ces réflexions, certains dispositifs expérimentaux sont proposés. Les voici :

---

<sup>13</sup> Rapport du groupe de travail pour l'accélérateur national à ions lourds, p.67

- ↪ **Un poste expérimental à haute résolution**, constitué essentiellement d'un spectrographe magnétique, qui devra être équipé d'un système achromatique afin d'améliorer la résolution du faisceau.
- ↪ **Un système de spectrographes pour ions très lourds**, afin d'identifier à une masse et une charge près des ions très lourds. On évoque la possibilité d'un travail en coïncidence de 2 spectrographes identiques.
- ↪ **Un système de spectroscopie en ligne**, qui comprend un séparateur de masse et un dispositif de transfert rapide des noyaux dans une zone de comptage à faible bruit de fond. Cet ensemble servirait à identifier des noyaux exotiques produits par l'impact entre le faisceau et la cible. Dans le cas où la durée de vie serait trop faible, un sélecteur de vitesse serait utilisé.
- ↪ **Un certain nombre de chambres à réaction**, utilisables avec des détecteurs au silicium, germanium : au moins une chambre de grand diamètre (1 mètre à 1 mètre 50) et une chambre spécialisée pour les mesures  $\gamma$ , ainsi que des chambres banalisées.

A tout ceci, il faut ajouter les locaux d'expérimentations et l'électronique associée en ligne avec un petit ordinateur.

Dans un contexte de dotations faibles et en raison du coût très élevée de la machine, le groupe d'études a prévu des infrastructures économiques <sup>14</sup>:

*« La détermination des bâtiments et de l'infrastructure compte pour une part importante dans le coût global du projet. C'est pourquoi nous avons tenté de concevoir un ensemble économique qui, au cours des temps, offre cependant les plus larges possibilités aux expériences de physique. Nous avons cherché à éviter certaines difficultés rencontrées au cours des dernières années dans la réalisation des conduites de faisceaux et d'expériences moyennes de grande machine sur une aire de petite machine, prévue modeste et surtout gelée à l'origine. »*

Ainsi, un premier plan est issu de ces constatations, un plan bien plus modeste que le plan final<sup>15</sup>. Mais le principe d'aires permettant une large évolution des expériences est établi et sera respecté et amélioré. Quoi qu'il en soit, certaines installations sont obligatoires dans un tel laboratoire. Ce sont les suivantes :

---

<sup>14</sup> Rapport du groupe de travail pour l'accélérateur national à ions lourds, p.69

<sup>15</sup> Annexe 6, plan initial du GANIL

- ↳ Toutes les installations de protection radiologiques, qui jouent de manière fondamentale sur les fondations, la hauteur du bâtiment et la quantité de béton nécessaire pour isoler les différentes zones.
- ↳ Un ou plusieurs ponts roulants avec des charges minimales se comptant en dizaines de tonnes.
- ↳ Toutes les alimentations électriques et de fluides nécessaires à l'accélérateur et aux salles d'expériences.

Il est en outre nécessaire de réaliser des bâtiments qui permettent des extensions futures. Le plan initial tient donc compte de ces demandes du groupe de projet. Il se compose d'un hall principal, qui contient les accélérateurs, les transports de faisceaux et les casemates de détection, d'un bâtiment réservé aux alimentations et à la station de réfrigération, d'un bâtiment des aires où seront situées la salle de commande, l'informatique et les salles d'expériences, et d'un bâtiment de 3500 m<sup>2</sup> réservé aux physiciens et aux techniciens. Il faut ajouter à cela quelques annexes mal définies et le bâtiment de centrale de chauffage et d'air comprimé. Ce projet apparaît ainsi très modulaire et capable de s'adapter aux modifications futures. Malgré tout, de nombreuses études confiées à des cabinets d'ingénierie remanieront de nombreuses fois le projet pour donner finalement son allure au laboratoire actuel.

### 7 / Le coût du projet :

C'est en réalité le point essentiel du projet, car c'est lui qui va décider de la viabilité de l'entreprise. Peu coûteux, le projet ne serait pas pris au sérieux ; trop cher, et le financement ne serait jamais accepté. On ressent très bien que les physiciens et les ingénieurs du groupe de travail ont soigné cette partie du rapport malgré leurs lacunes dans les questions de gestion. Le coût est divisé en 2 postes : le budget infrastructure et équipements, et le budget machine. La construction des bâtiments, des dispositifs expérimentaux, des lignes de faisceaux, l'achat et la mise en place du béton de protection, et la construction des bâtiments annexes, sont évalué à 80 millions de francs. Quant à la machine, les deux cyclotrons à secteurs séparés associés aux 2 cyclotrons injecteurs, ont un prix total de 70 millions de francs, somme à laquelle il faut ajouter l'accélérateur électrostatique de 20 MV de type Pelletron appelé accélérateur Tandem souhaité par le groupe de travail pour une valeur de 30 millions de francs (35 millions au total duquel il faut retrancher la valeur d'un cyclotron injecteur alors inutile, soit 5 millions). En effet, cet accélérateur, selon le groupe, pourrait servir soit d'injecteur au deuxième cyclotron, améliorant ainsi la qualité du faisceau, soit d'accélérateur simple qui délivrerait un faisceau direct vers les salles d'expériences. L'objectif serait alors

d'élargir le champ des recherches. Ce qui donne selon le choix final un projet évalué entre 150 et 180 millions de francs. La somme pèse lourd face aux crédits de la physique nucléaire, mais le projet reste raisonnable<sup>16</sup>.

En outre, un planning de réalisation est établi et basé sur une décision de réalisation prise un an plus tard, à l'automne 1974, ce qui donne selon le planning un accélérateur prêt à fonctionner fin 1979<sup>17</sup>. On sent très bien ici la volonté de l'équipe de doter rapidement la France d'un accélérateur mondialement compétitif, tout particulièrement face à l'UNILAC de Darmstadt qui doit fonctionner vers 1975. Les responsables de l'avant-projet sont spécialement soucieux de mettre rapidement en route le processus de réalisation<sup>18</sup>:

*« D'autres part, la décision définitive sur le site devrait être prise en juin 1974. Compte tenu des divers délais administratifs (enquête d'utilité publique, expropriations éventuelles, ...) le processus de choix du site doit commencer le plus rapidement possible. Si la décision définitive sur le site n'était prise qu'en janvier 1975, la construction des bâtiments deviendrait aussi un chemin critique du planning, c'est-à-dire que tout retard se répercuterait sur la date de mise en service de l'accélérateur. »*

Dans ce dernier cas de figure, le faisceau doit être disponible à la fin 1980 si les plannings technique et financier sont respectés. Nous verrons que la situation se compliquera à la fin des années 70 : c'est pour cette raison que le premier faisceau ne verra le jour qu'à la fin de l'année 1982.

## 8 / Les conclusions du groupe de travail :

La conclusion du rapport met l'accent sur la compétition internationale qui se joue autour de ce nouveau type d'accélérateurs d'ions lourds. Si la France, avec à sa tête l'IPN d'Orsay et son accélérateur Alice, se place alors vers 1973 en première ligne de la recherche mondiale sur les ions lourds, il ne faut pas oublier que dans ce domaine de recherche il est très facile de rapidement prendre du retard, un retard extrêmement difficile à rattraper. Il en va donc de la place de la France et de ses chercheurs sur l'échiquier international de la recherche fondamentale en physique nucléaire. Selon ses conclusions, le groupe de travail interpelle ses interlocuteurs sur les différents accélérateurs et projets étrangers, tels l'UNILAC de Darmstadt, le SUPER HILAC de Berkeley ou le projet N.H.L. de Oak Ridge, qui rentrent en concurrence directe avec le projet GANIL. Nous ressentons ici la volonté de doter les physiciens français d'un outil de travail de premier choix qui profitera bien entendu à la communauté internationale de

---

<sup>16</sup> Rapport du groupe de travail pour l'accélérateur national à ions lourds, p.87

<sup>17</sup> Annexe 7, planning prévisionnel de la construction

<sup>18</sup> Rapport du groupe de travail pour l'accélérateur national à ions lourds, p.91

chercheurs. Malgré tout, si les ambitions stratégiques sont grandes, le groupe se montre ferme au sujet des techniques à employer pour la réalisation de l'accélérateur<sup>19</sup> :

*« Diverses solutions techniques de types relativement classiques, c'est-à-dire ne nécessitant pas l'emploi de technologies non éprouvées, existent actuellement, et permettent d'obtenir des faisceaux d'énergie, d'intensité et de qualité suffisantes pour aborder dans de bonnes conditions l'ensemble de cette nouvelle physique. Remarquons du reste que l'utilisation de technologies très avancées ne semble pas devoir réduire de façon appréciable le prix d'un accélérateur de caractéristiques données. »*

Il faut évidemment se replacer dans le contexte de l'époque. En effet, si l'accélérateur Alice a donné d'excellents résultats grâce aux ions lourds et si cette recherche se développe à l'échelle planétaire, cette physique n'est encore que pleine de promesses. Bien entendu, l'IN2P3 et le CEA ne se lancent pas dans un projet sans réelle consistance. Mais dans un contexte budgétaire difficile, il semble absolument nécessaire de défendre un projet que les ingénieurs et les physiciens sont d'ores et déjà capables de mener à terme et dont on est parfaitement capable de chiffrer le coût et les délais de réalisation. Le groupe de travail souhaite véritablement rendre un projet clefs en main qui ne surprendra pas au cours de son exécution. Nous en venons ainsi aux recommandations finales<sup>20</sup> :

*« Parmi les solutions utilisant des techniques éprouvées, le Groupe de Travail recommande une machine constituée de deux cyclotrons identiques à secteurs séparés. L'injection dans le premier cyclotron CSS est réalisée par un petit cyclotron. Le faisceau issu du premier anneau est injecté après stripage dans le second anneau.*

*Le prix de réalisation d'un tel ensemble, y compris les deux pré-injecteurs, est de 70 MF, auquel il faut ajouter une somme de 80 MF pour les bâtiments, les voies de faisceaux et l'équipement expérimental.*

*Le projet recommandé est donc un accélérateur dont les performances en font un outil assez complet et très compétitif pour aborder dans de très bonnes conditions l'ensemble de la physique des ions lourds et, spécialement, les études utilisant les faisceaux d'ions légers et moyens. Différentes études prospectives sur la physique que l'on peut envisager actuellement ont montré l'intérêt de la construction d'un tel accélérateur. Cependant, les possibilités offertes par le projet sont telles qu'elles devraient presque certainement ouvrir de très nombreuses voies nouvelles en physique nucléaire, mais également dans d'autres directions. »*

---

<sup>19</sup> Rapport du groupe de travail pour l'accélérateur national à ions lourds, p.103

<sup>20</sup> Rapport du groupe de travail pour l'accélérateur national à ions lourds, p.104

Le projet est maintenant initié. Reste à savoir si ce rapport restera lettre morte ou bien donnera lieu à un véritable laboratoire. En juillet 1973, lorsque le groupe de travail rend son rapport, les scientifiques n'ont aucune certitude quant à la création finale de l'accélérateur d'ions lourds. Malgré l'appui de l'IN2P3, du CEA, de la DGRST, de la communauté scientifique française et internationale qui attend avec impatience et ferveur la réalisation de ce projet, personne n'est capable de dire si le GANIL verra le jour. En effet, il apparaît peu probable que l'Etat français accepte dans ce contexte de crise économique de financer un projet d'environ 200 millions de francs. En dépit de ces incertitudes, les ingénieurs et les physiciens vont s'atteler avec passion à l'étude pratique des solutions proposées dans le rapport, dans le but d'être prêt à réagir dès que les crédits nécessaires à la réalisation du laboratoire seront débloqués. Qui sait, peut-être jamais, mais n'est-ce pas le rôle du chercheur que de prouver par l'expérience la véracité ou l'échec de sa théorie ?

## B / La création du comité de projet : un pas de plus pour le GANIL :

### 1 / Sa constitution et ses attributions :

Très rapidement, le CEA et l'IN2P3 mobilisent ingénieurs et physiciens en vue des études préliminaires requises pour l'élaboration d'un projet définitif. Une note conjointe du 21 décembre 1973 précise ainsi le « *schéma général de l'organisation des études sur l'accélérateur national à ions lourds* »<sup>21</sup>. L'organisation s'articule autour de deux structures et de deux responsables. Tout d'abord, le Comité de Projet, composé de 8 membres, a la responsabilité du programme d'études. Ensuite vient le chef de projet qui, assisté du groupe de projet, propose et réalise le programme d'études, avec l'aide du personnel affecté par les deux organismes. Le Haut Conseiller technique, quant à lui, conseille le comité de projet et le chef de projet. Enfin, un Conseil de physiciens, en nombre variable, examine toutes les questions liées à l'utilisation de la machine. Il étudie ainsi l'intérêt des faisceaux d'ions lourds dans des domaines autres que celui de la physique nucléaire, il précise l'organisation et l'implantation des aires expérimentales autour de l'accélérateur, et il propose un schéma d'organisation du laboratoire national. Ces trois prérogatives se retrouvent sous la responsabilité de trois sous-groupes : les sous-groupes « schéma d'organisation du laboratoire national », « instrumentation et aires expérimentales », et « utilisation de GANIL en dehors de la Physique nucléaire ». En effet, les questions d'organisation du futur laboratoire et de mise en place des aires expérimentales font partie intégrante du projet final. On ne saurait repousser la mise en fonctionnement d'une telle machine en raison de la réalisation tardive des dispositifs expérimentaux ou pour des problèmes purement administratifs.

---

<sup>21</sup> *Bulletin d'information GANIL*, n°1, juillet 1974, p. 3, Documentation GANIL

Dans la pratique, on retrouve bien entendu au sein du Comité de Projet M. Jean Teillac, Directeur de l'IN2P3, M. Jules Horowitz, Délégué à la recherche fondamentale au CEA, M. Marc Lefort, de l'IPN d'Orsay, également président du Conseil des physiciens, et enfin M. Marcel Gouttefangeas, du CEA Saclay, Chef de projet, pour ne citer qu'eux. La réalisation du GANIL doit beaucoup aux différents acteurs qui se sont succédés au sein des différents groupes d'études dont nous parlerons plus tard, mais M. Lefort et M. Gouttefangeas apparaissent comme la clef de voûte de la formidable réussite que sera la réalisation scientifique et technique du GANIL. Mais nous aurons l'occasion d'y revenir. Pour être tout à fait complet, indiquons que M. Lapostolle reçoit la charge de Haut Conseiller technique. Cette structure apparaît ainsi tout à fait viable et apte à conduire les études préalables.

De cette manière, à partir de la mi-février 1974, un petit groupe de projet d'une douzaine de membres sous la direction de Marcel Gouttefangeas se réunit à l'IPN d'Orsay. Comme nous l'avons déjà vu, le CEA et l'IN2P3 ont développé au préalable une coopération technique et scientifique sur différents projets. Les travaux se font ainsi dans une entente cordiale et la collaboration est totale. Dès les premiers travaux, l'ambiance est électrisée par l'enjeu et la passion anime les différents protagonistes. Bien entendu, quelques rumeurs courent autour du projet : il se dit dans les couloirs que le GANIL n'existera jamais et que M. Gouttefangeas avance sur une voie de garage. L'idée selon laquelle l'IN2P3 ne pourra pas assumer et GANIL et ALICE fait son chemin et le spectre de la fermeture de l'IPN fait son apparition. Mis à part ces quelques aléas de la vie en communauté, les travaux avancent à pas de géant. Les différents membres se concentrent essentiellement sur l'étude critique et détaillée des propositions formulées en juillet 1973. Le choix d'utiliser des techniques éprouvées va s'avérer décisif : en effet, un temps considérable est économisé par rapport à un projet utilisant des techniques nouvelles qui nécessitent des années d'études, comme les supraconducteurs par exemple. Par conséquent, le Groupe de projet envisage la fin de la phase préliminaire pour la fin de l'année 1974, ce qui lui permettra d'entreprendre dès 1975 la réalisation de maquettes et de prototypes des aimants et cavités accélératrices<sup>22</sup>. En effet, avant de lancer les appels d'offres sur les pièces à l'échelle 1/1, il convient de comparer les calculs théoriques avec les mesures effectuées sur les prototypes afin d'établir un cahier des charges très précis pour l'entreprise qui fabriquera par exemple les aimants. Toutes les pièces de l'accélérateur demandent en effet une conception et une fabrication irréprochables.

Ainsi, en ce début d'année 1974, le projet GANIL commence à sortir de l'ombre. Les deux grands organismes que sont l'IN2P3 et le CEA accordent à ce projet un crédit indéniable. S'il n'existe pas d'unanimité sur le bien fondé de la machine dans un contexte économique difficile et rude pour les crédits alloués à la recherche, le Groupe

---

<sup>22</sup> PV du Comité de projet GANIL du 4 juillet 1974, Archives du CNRS, Fontainebleau, F 820767 art. 8

de projet mobilise toutes ses énergies afin de concrétiser le projet GANIL, qui doit être le laboratoire de physique nucléaire des années 80.

## 2 / Les travaux préparatoires du Groupe de projet :

Dans un premier temps, le Groupe de projet se focalise sur les études de faisabilité. Elles doivent en effet confirmer le type d'accélérateur retenu, fixer ses paramètres essentiels et indiquer les performances garanties que l'on peut attendre de l'ensemble. Il est absolument nécessaire que les performances de l'accélérateur choisi correspondent à la norme GANIL élaborée par les physiciens et présentée dans le rapport de juillet 1973.

Ainsi, le groupe a-t-il entrepris la création d'un programme informatique nommé GOUPIL (GANIL : Orbites Utiles Pour Ions Lourds) qui permet de simuler sur ordinateur le comportement du faisceau dans CSS1 et CSS2. Le programme est opérationnel en septembre 1974 et les performances générales sont précisées dès janvier 1975<sup>23</sup>.

Les mesures sont plus compliquées à réaliser pour les cyclotrons injecteurs Co. Effectivement, en raison de l'importance des phénomènes qui se passent à la sortie de la source d'ions et de leur complexité, l'analyse devient très difficile et nécessite cette fois le recours à l'expérience et à la mesure sur un cyclotron adéquat. Une proposition d'accord est ainsi établie avec le CERN qui mettra à disposition le matériel nécessaire.

Nous touchons ici du doigt une caractéristique essentielle du fonctionnement du Groupe de projet : il ne travaille pas du tout en autarcie. Une collaboration étroite avec différents laboratoires français et étrangers est indispensable à la bonne tenue du projet. Dans cet ordre d'idée, nous pouvons citer la collaboration qui existe avec le CRN de Strasbourg en ce qui concerne le stripping. En effet, à partir du mois de juillet 1974, une équipe du CNRS cherche à mieux connaître la durée de vie de la feuille de stripage, la divergence angulaire et la dispersion en énergie. Une collaboration doit ainsi s'établir avec une équipe du GSI de Darmstadt et les études se poursuivre avec différents types de faisceaux, ce qui permettra d'avoir une idée assez claire de la durée de vie des feuilles sous le jet de particules. En ce qui concerne les sources d'ions Penning, abrégé en PIG, les travaux sont partagés entre l'ISN de Grenoble et l'IPN de Lyon. Les sources constituent un élément indispensable de l'ensemble accélérateur et qui plus est très difficile à mettre au point. L'année 1975 sera décisive quant aux résultats des mesures d'émittances de sources à cathode chaude et froide, et à la durée de vie des cathodes.

Le travail du Groupe de projet ne s'arrête pas aux caractéristiques techniques de l'accélérateur. La création d'un laboratoire national représente l'objectif principal à atteindre. C'est pour cette raison que le groupe s'intéresse activement à la question de l'organisation et du fonctionnement du futur laboratoire. Une commission des sites est

---

<sup>23</sup> PV du Comité de projet GANIL du 9 octobre 1974, Archives du CNRS, Fontainebleau, F 820767 art. 8

d'ailleurs créée au sein du Groupe de projet. La question du site d'accueil est ainsi suivie par MM. Combrisson et Sarazin qui ont préparé un questionnaire envoyé à Grenoble, l'Isle d'Abeau, Bordeaux et Strasbourg, villes ayant présenté au cours de l'année 1974 une candidature spontanée. Les responsables des autres régions sont également prévenus de l'existence du projet et peuvent ainsi constituer un dossier de candidature. Le financement du projet n'ayant pas encore à cette date été décidé par les pouvoirs publics, ce n'est qu'à titre indicatif que le groupe de projet s'intéresse à cette question. Mais l'idée selon laquelle le GANIL doit se situer près d'un centre important de recherche fondamentale en physique nucléaire ou en physique des particules fait l'unanimité<sup>24</sup>.

*« La décision qui sera prise résultera donc d'une estimation pondérée des avantages respectifs de chaque site quant aux facilités et au coût d'installation, quant aux commodités d'utilisation (liaisons aisées, possibilités d'accueil, support technologique) et quant à l'environnement scientifique préexistant ou escomptable au cours de la prochaine décennie. »*

Le Groupe réalise également un travail important sur le problème de l'organisation du futur laboratoire. Ainsi, en 1975, le CEA et l'IN2P3 comptent approximativement 430 physiciens nucléaires dont 160 à 180 envisagent d'avoir une activité auprès du GANIL. En raison de l'expérience tirée du fonctionnement de laboratoires similaires tels l'IPN d'Orsay ou bien le CEN de Saclay, il semble impossible de permettre l'accès à autant de physiciens à la fois ou de les concentrer à demeure sur un même site. Le GANIL apparaît donc rapidement comme un laboratoire d'accueil. Il n'est d'ailleurs pas souhaitable pour l'enrichissement de l'activité scientifique que le GANIL regroupe toutes les énergies. Il doit plutôt stimuler les recherches au sein des laboratoires existants. Cette idée est partagée unanimement par toute la communauté de physique nucléaire, ce qui éteint du même coup les rumeurs de fermeture de laboratoires. Il semble malgré tout nécessaire que, afin d'optimiser les recherches des physiciens visiteurs, un groupe de physiciens résidents de haut niveau soit présent au sein du laboratoire. L'efficacité d'utilisation du GANIL doit également être optimale. C'est pourquoi le Groupe préconise la constitution d'une solide équipe d'ingénieurs et de techniciens qui manifesteront un constant effort d'amélioration de la machine et des dispositifs expérimentaux.

Pour ce qui est du schéma d'organisation général, le Groupe de projet propose ce qui suit<sup>25</sup> :

---

<sup>24</sup> PV du Comité de projet GANIL du 19 mars 1975, Archives du CNRS, Fontainebleau, F 820767 art. 8

<sup>25</sup> *Bulletin d'information GANIL*, n°2, février 1975, p. 16, Documentation GANIL

- ↳ Un Comité de gestion désigné par le CEA et l'IN2P3, chargé de la définition du budget du GANIL ainsi que du contrôle administratif et de la définition des moyens en personnel jugés nécessaires.
- ↳ Un Comité scientifique chargé d'examiner (après avis technique du Comité des utilisateurs) et d'approuver ou de rejeter les demandes de temps de faisceau. Ce comité devrait comprendre essentiellement des physiciens n'appartenant pas au laboratoire lui-même.
- ↳ Un Comité d'utilisateurs formé principalement de scientifiques résidents ou de visiteurs de longue durée, qui coopéreraient sur le plan technique à l'établissement des projets d'expériences et ventilerait les heures de faisceau selon les recommandations du comité scientifique.

L'organisation définitive du laboratoire sera très proche de ce projet élaboré en juillet 1974. Nous aurons l'occasion d'y revenir. En outre, le Groupe de projet recommande en premier lieu d'utiliser un soutien technique et administratif modéré, puisque l'estimation du personnel nécessaire avoisine les 60 personnes. Ce point particulier sera marqué par une grande évolution, nous le verrons plus tard.

Enfin, les questions concernant les bâtiments qui abriteront l'accélérateur et les problèmes concernant la situation des aires expérimentales font l'objet d'une attention toute particulière. Il apparaît ainsi très nettement que le plan proposé dans le rapport de juillet 1973 ne répond pas aux besoins du futur laboratoire. Un nouveau plan est donc réalisé par le Groupe, qui passe ensuite un contrat avec la société Technicatome consistant à réaliser un certain nombre de plans de bâtiments sur un site théorique<sup>26</sup>. L'idée principale à retenir en ce qui concerne les aires expérimentales est le choix d'une implantation en « arête de poisson » : dans une telle distribution, le faisceau est partagé par un aimant à septum, puis circule dans deux lignes parallèles situées dans un couloir, et qui distribuent le faisceau dans les salles d'expériences situées à gauche et à droite du couloir. Cette solution, moyennant quelques modifications, sera finalement retenue.

Ainsi, en ce début d'année 1975, le Groupe de projet a quasiment terminé les études de faisabilité de l'accélérateur. C'est un remarquable travail qu'a réalisé ce Groupe, étant donné le peu de moyens financiers alloués aux études de faisabilité. Mais le rapport d'étude que rend le Groupe sera de grande qualité et fera pendant longtemps référence. Les différentes modifications apportées au projet initial sont alors présentées dans le second « livre bleu » qui a pour titre : l'Accélérateur national d'Ions lourds (GANIL).

---

<sup>26</sup> Annexe 8, plan du GANIL, juillet 1974

### 3 / Le second « livre bleu » : un projet abouti :

#### a / Introduction à l'étude du groupe de projet :

En avril 1975, après un an de travail, le groupe d'études mis en place par le CEA et l'IN2P3 remet le rapport d'avant-projet GANIL à ses deux organismes de tutelle. Ce rapport montre avec force l'effort de théorie et de calcul qui a été consenti par le Groupe de projet et qui permet lors de la parution du rapport de prévoir avec une raisonnable précision les performances du futur accélérateur et d'affirmer qu'il atteindra la norme GANIL.

Tout d'abord, le groupe de projet rappelle la solution proposée par le premier groupe de travail créé en novembre 1972 : il s'agissait d'un ensemble accélérateur dont le cœur était constitué d'un petit cyclotron injecteur Co, de deux cyclotrons à secteurs séparés identiques appelés CSS1 et CSS2 avec stripage intermédiaire. Après une année de travail, le Groupe de projet réaffirme la validité du type de solution proposée, moyennant un aménagement judicieux des paramètres généraux des accélérateurs. Le rapport se propose donc « *d'exposer ses différents travaux relatifs à la théorie des cyclotrons et d'indiquer les enseignements qu'ils ont apportés ; il est en second lieu de donner une description technologique des accélérateurs, des transports de faisceaux et aussi du génie civil et de l'infrastructure ; il est enfin de dire dans quelles conditions de planning de personnel et de prix les composants peuvent être réalisés* »<sup>27</sup>.

#### b / Conception générale et théorie des CSS :

Rappelons que le but essentiel de l'accélérateur GANIL est de satisfaire aux demandes de la physique nucléaire expérimentale tant en ce qui concerne l'énergie et l'intensité des faisceaux d'ions lourds qu'en ce qui concerne leur qualité intrinsèque, telles la résolution en énergie et l'émission.

Le premier point soulevé dans le rapport d'avant projet est celui de la dynamique des ions dans les CSS. Le Groupe de projet a concentré une grande partie de son temps et de ses forces à l'évaluation des performances du système accélérateur préconisé par le rapport initial. Le but à atteindre, et cela comme avec n'importe lequel accélérateur, est qu'il transfère de l'énergie au faisceau de particules sans en altérer les qualités intrinsèques. Il est essentiellement souhaitable de ne pas perdre d'intensité, de ne pas ajouter de dispersion d'énergie à celle déjà présente dans le faisceau injecté. Grâce au programme de simulation informatique GOUPIL, combiné à la carte du champ magnétique fournie grâce au relevé expérimental réalisé sur un modèle d'aimant d'Oak Ridge, les ingénieurs responsables de ces études en sont arrivés aux conclusions

suivantes : en avril 1975, l'ensemble des phénomènes qui régissent la dynamique d'un faisceau de particules dans un cyclotron à secteurs séparés semble maîtrisé de façon satisfaisante<sup>28</sup>. Ensuite, ce qui est un point essentiel pour l'avancement du projet, les résultats obtenus montrent qu'il est possible de satisfaire assez facilement aux normes GANIL au moyen de la configuration proposée de deux cyclotrons en série. Le Groupe rentre ensuite dans des considérations plus techniques. Ainsi, il précise que le choix de fonctionner sur les harmoniques  $h_1 = 8$  pour CSS1 et  $h_2 = 2$  pour CSS2 ( $h = 2$  pour un CSS fonctionnant seul) paraît plus approprié étant donné que les réglages et la sensibilité aux défauts sont d'autant plus critiques que l'on utilise un harmonique plus élevé. Malgré tout, le couple initial  $h_1 = 16$ ,  $h_2 = 4$  ( $h = 4$ ) reste possible. Ensuite, il est signalé que le bien fondé de l'utilisation d'un flat-topping d'harmonique élevé ( $k = 4$ ) a été pleinement confirmé et que les tolérances requises pour son réglage s'avèrent moins sévères que prévu. De même, les effets de la charge d'espace n'apparaissent que pour les plus forts courants envisagés et ne sont pas très gênants. Il en va de même pour les premiers types de défauts testés (défauts magnétiques, électriques et de positionnement) qui n'imposent pas de tolérances trop sévères. Le Groupe de projet conclut alors<sup>29</sup> :

*« Il est maintenant possible d'aborder l'étude systématique du comportement des différents faisceaux prévus dans le projet GANIL et ce avec le double objectif de déterminer les conditions optimales de fonctionnement et les caractéristiques associées des différents faisceaux, et de chiffrer de façon plus précise les tolérances requises par l'étude plus approfondie de différents types de défauts. Enfin, ces études devront être reprises lorsque nous posséderons la topographie exacte de champ de l'aimant. »*

### c / Caractéristiques des aimants des CSS :

Pièces essentielles des cyclotrons, les aimants demandent également une attention toute particulière<sup>30</sup>. L'aimant de chaque CSS se compose de 4 secteurs de 10 cm d'entrefer et de 52° d'angle, dont le sommet est confondu avec le centre de la machine. Le champ magnétique maximal est de 1,6 T, mais les aimants devront conserver leurs caractéristiques pour des inductions plus basses, le cyclotron devant fonctionner à énergie variable. Chaque secteur qui pèse environ 400 tonnes se compose de 2 pièces polaires, de 2 culasses identiques et d'une culasse intermédiaire. Les pièces polaires seront en acier forgé pour des raisons de qualité magnétique, pèseront 25 tonnes chacune et mesureront 60 cm de haut. Il n'est pas précisé à ce moment les caractéristiques des 3 culasses. S'ajoutent à cet ensemble les 8 bobines principales, qui

---

<sup>27</sup> *L'accélérateur national d'ions lourds (GANIL)*, GANIL, avril 1975, 179 pages, Documentation GANIL

<sup>28</sup> *L'accélérateur national d'ions lourds (GANIL)*, p.50

<sup>29</sup> *L'accélérateur national d'ions lourds (GANIL)*, p.52

<sup>30</sup> *L'accélérateur national d'ions lourds (GANIL)*, p.98

sont en conducteur creux de cuivre refroidi à l'eau. Elles ont été déterminées à partir d'une puissance consommée de 600 kW et d'une intensité de 1600 Ampères. Il faut également signaler la présence de 2 bobines d'équilibrage rendue nécessaire par la dispersion magnétique observée dans des électro-aimants massifs de grande taille. Les aimants sont véritablement des pièces très impressionnantes et des chefs-d'œuvre de technologie.

#### d / Le système accélérateur :

Intéressons-nous ensuite au système accélérateur qui a pour rôle de fournir par voie cumulative au faisceau d'ions lourds circulant dans la chambre du CSS l'énergie qui est requise pour leur accélération<sup>31</sup>. Les cavités classiques des CSS, dites cavités à dees, sont des résonateurs coaxiaux, fendus dans le plan horizontal pour permettre le passage du faisceau et accordées à l'aide de tronçons de lignes en court circuit ou stems. Elles sont accompagnées d'amplificateurs de puissance, dont le tube final sera une tétrode capacitivement couplée à la charge, d'un régulateur de fréquence, d'un régulateur de niveau, qui sera un atténuateur électronique variable qui fixera le niveau à l'entrée de l'amplificateur de puissance et qui a pour fonction de maintenir la tension accélératrice (ou de flat-topping) constante, et d'un régulateur de phase ayant pour fonction de maintenir constant le déphasage entre une tension de référence et la tension accélératrice et constitué d'un déphaseur électronique rapide à diodes qui sera inséré à bas niveau dans la voie correspondante.

#### e / Ensemble injecteur : les sources d'ions et le Co :

Le rôle de l'injecteur est de fournir aux cyclotrons CSS1 et CSS2 fonctionnant en cascade un faisceau d'ions qui permet d'avoir à la sortie de CSS2 les performances de la norme GANIL<sup>32</sup>. L'injecteur proposé est un petit cyclotron compact Co qui, alimenté par une source PIG conventionnelle, possède toutes les caractéristiques requises. Les sources d'ions sont donc de type PIG à cathode chaude ou froide et à extraction latérale. Lors de l'élaboration du projet, ce sont elles qui se sont montrées les mieux à même de délivrer les états de charge les plus élevés avec des intensités utilisables par GANIL. Ces modèles, longtemps utilisés pour ioniser uniquement des gaz, sont à la date de rédaction capables de fournir tous les éléments de la table périodique grâce aux techniques de four et du sputtering. Les études sur ce sujet se poursuivent à Lyon et à Grenoble, principalement en ce qui concerne l'émittance de la source et la durée de vie de la cathode. Des études se déroulent également au laboratoire de M. Geller à Grenoble dans le but de mettre au point un nouveau type de source baptisé ECR, signifiant

---

<sup>31</sup> *L'accélérateur national d'ions lourds (GANIL)*, p.104

<sup>32</sup> *L'accélérateur national d'ions lourds (GANIL)*, p.112

Electron Cyclotron Resonance, et qui doit donner des ions initialement plus chargés. Pour ce qui est du cyclotron compact, le choix se fixe sur un injecteur petit et moins coûteux, plus capable de répondre aux caractéristiques d'injection dans CSS1. L'aimant pèsera 54 tonnes. La source d'ions interne PIG sera insérée au centre du cyclotron au moyen d'une canne radiale. Enfin, la question du vide représente un point essentiel du cyclotron compact : grâce à une combinaison de pompes cryogéniques et turbomoléculaires, les plus petites particules et les atomes sont aspirés. C'est une condition essentielle à la bonne qualité du faisceau. En effet, le vide doit être suffisamment bon pour éviter les pertes de faisceau par échanges de charge avec le gaz résiduel.

### f / Le « strippage » :

Il est nécessaire pour atteindre les normes GANIL de disposer entre CSS1 et CSS2 d'un stripper qui augmente l'état de charge du faisceau<sup>33</sup>. En effet, lorsqu'une cible mince solide ou gazeuse est traversée par un faisceau d'ions lourds, elle provoque en son sein une série de captures et de pertes d'électrons qui s'équilibrent statistiquement au bout d'une épaisseur de matière appelée « épaisseur d'équilibre ». A ce moment de l'étude, il manque beaucoup de paramètres qui sont nécessaires pour connaître cette épaisseur, la dispersion en énergie et les effets du faisceau sur la cible. Les travaux continuent alors au CRN de Strasbourg qui a pour mission d'établir des lois expérimentales plus précises. Malgré tout, si la durée de vie des feuilles de stripage est mal connue, le procédé à l'avantage d'être placé entre les deux CSS, ce qui permettra de disposer d'un grand nombre de feuille et d'un système de changement rapide, mais aussi de les chauffer ou bien de leur donner un mouvement de balayage dans le faisceau.

### g / Vide, chambre à vide et pompage :

Comme nous l'avons vu plus haut, la qualité du vide est un facteur déterminant de la qualité du faisceau. Les gaz résiduels doivent être totalement absents des différents composants de l'accélérateur : le cyclotron compact, les deux CSS, en passant par les lignes de transfert, jusqu'aux dispositifs expérimentaux, le vide doit être impeccable<sup>34</sup>. Ainsi, chaque enceinte à vide des CSS sera composée de 8 éléments dont 4 seront identiques et constitueront les chambres des secteurs. La solution définitive n'a pas encore été retenue en avril 1975. Quant au pompage, différents procédés sont utilisables : les pompes cryogéniques à sublimation de titane, les pompes turbomoléculaires. Le choix final et les combinaisons dépendront essentiellement du

---

<sup>33</sup> *L'accélérateur national d'ions lourds (GANIL)*, p.128

<sup>34</sup> *L'accélérateur national d'ions lourds (GANIL)*, p.136

temps de mise en vide et de la facilité de maintenance. Ce problème demande encore de nombreuses heures de travail lors de la rédaction du rapport.

### h / Injection, éjection, transfert :

Nous évoquerons très brièvement ces questions très techniques et forts complexes. Entre les différentes machines se trouvent des lignes de faisceau qui réalisent le transfert des ions, leur injection dans les CSS et leur éjection, tout en assurant la bonne adaptation transversale et longitudinale des faisceaux<sup>35</sup>. Les problèmes posés par l'injection et l'éjection sont dus essentiellement à la diversité des ions et des énergies utilisés, et à la séparation entre orbites centrales successives des particules accélérées. Le Groupe de projet doit alors attendre la réalisation d'une maquette à l'échelle \_ pour donner ses conclusions définitives. Pour ce qui est du transfert, les lignes de faisceau qui l'assurent d'une machine à la suivante constituent des interfaces qui doivent satisfaire à des exigences multiples et de nature très différente. Le Groupe de projet propose la conception d'une ligne de transfert à fonctions séparées située entre Co et CSS1 qui assurent l'adaptation des émittances transverses, l'isochronisme complet et l'achromatisme complet. Les autres lignes de transfert doivent également être courtes et directes et comporter un minimum d'éléments optiques compatibles avec une dimension de faisceau raisonnable et une commodité de réglage acceptable. D'autre part, il semble à ce moment souhaitable que les éléments optiques soient en grande partie de type standard. Enfin, le Groupe précise que l'implantation des machines doit être conçue de façon à ce que les développements futurs, tels que l'adjonction de nouveaux injecteurs ou d'un accélérateur Tandem ou encore l'extension de la zone expérimentale, puissent s'adapter aux installations existantes.

### i / Utilisation du faisceau et dispositifs expérimentaux :

Deux idées fondamentales apparaissent clairement au Groupe de projet<sup>36</sup>. Tout d'abord, compte tenu du caractère national du laboratoire, les accélérateurs devront servir à un grand nombre de physiciens. Il faut donc autant que possible faciliter les parallélismes d'expériences et les mises au point de faisceaux et de détecteurs. Ensuite, il est important que le passage d'une expérience à une autre se fasse simplement et rapidement. Dans cet ordre d'idée, le groupe de projet propose de retenir le principe du transfert et de la distribution des faisceaux en « arête de poisson ». Ce système, qui sera par la suite remanié, présente toute la souplesse requise, et son caractère linéaire se prête parfaitement à une extension modulaire du hall expérimental. Pour ce qui est des dispositifs expérimentaux, il est difficile de préciser en avril 1975 les différents

---

<sup>35</sup> *L'accélérateur national d'ions lourds (GANIL)*, p.142

<sup>36</sup> *L'accélérateur national d'ions lourds (GANIL)*, p.150

équipements qui pourraient être utilisés à GANIL, aucune étude n'ayant été menée à ce moment. Malgré tout, du fait de la grande variété d'expériences possibles, les techniques expérimentales seront elles aussi extrêmement diverses. Le groupe prévoit pour les grandes salles du hall expérimental des équipements très lourds et encombrants. Le rapport cite :

- ↳ Une salle destinée à l'analyse en masse, charge et énergie des ions très lourds, grâce à des techniques de temps de vol à grande base de vol associées ou non à des analyseurs magnétiques.
- ↳ Une salle destinée à la spectrométrie à haute résolution, dans laquelle la résolution en énergie à atteindre est d'environ  $5.10^{-5}$ , nécessitant un système de compensation, ainsi que de grandes distances après le spectromètre pour la détection.
- ↳ Une salle destinée à un séparateur d'isotopes pour l'étude des noyaux très éloignés des conditions de stabilité, dits « noyaux exotiques ».

Par contre, la fonction des petites salles ne peut encore être donnée avec précision, étant donné la très grande variété d'expériences envisagées, et des techniques à mettre en œuvre. Ce problème sera particulièrement traité lors de la phase de réalisation de l'ensemble accélérateur.

### j / L'informatique au service du GANIL :

Ce point est tout à fait capital : il est en effet responsable du paramétrage de la machine et de l'acquisition des données expérimentales<sup>37</sup>. Le Groupe de projet préconise que les commandes de la machine soient faites sur deux modes : le mode manuel, dans lequel les commandes s'effectuent en marche normale, à partir de la console principale située dans la salle de contrôle, en période d'entretien à partir de consoles locales situées à proximité des appareillages, et le mode automatique, par programme ou sur demande d'un opérateur. Le calculateur devra quant à lui assurer une acquisition systématique d'un grand nombre de paramètres de la machine permettant de diagnostiquer rapidement la défaillance d'un organe, de connaître à tout moment les conditions de fonctionnement, de tenir un livre de bord et de parfaire la connaissance dynamique du faisceau. Il pourra en outre réaliser des acquisitions occasionnelles de certaines grandes caractéristiques du faisceau, et assigner automatiquement à des valeurs connues par avance les paramètres de réglage de la machine et des lignes de

---

<sup>37</sup> *L'accélérateur national d'ions lourds (GANIL)*, p.154

transport de faisceau, ce qui facilitera les changements de condition de fonctionnement de la machine, en particulier les changements d'énergie.

### k / Génie civil et infrastructure :

La localisation du site du futur accélérateur n'étant pas connue en avril 1975, le Groupe de projet n'a pas poussé très loin les études de bâtiments et d'infrastructures. La description sommaire se borne à étudier le hall principal qui abritera les accélérateurs et les aires expérimentales avec son infrastructure de fluides (eau et électricité) et ses deux annexes qui sont la salle de commandes et le bâtiment alimentations, ainsi qu'un bâtiment de bureaux et de laboratoires destiné à abriter le personnel attaché aux machines.

La conception générale repose sur quatre idées générales qui ont présidé à l'établissement de l'avant-projet. Tout d'abord, la zone des machines doit être aussi dégagée que possible de façon à faciliter les adjonctions ultérieures, dont la première à ce moment pouvait être un accélérateur Tandem de haute énergie. Ensuite, la zone des aires expérimentales doit être modulaire et pouvoir s'étendre facilement le long de « l'arête de poisson » qui réalise la distribution des faisceaux. L'équipement de la zone expérimentale doit également être aussi mobile que possible de façon à faciliter les changements d'ordonnancement. En particulier, la préférence est à donner à des murs constitués de blocs de béton modulaires plutôt qu'à des murs fixes. Enfin, seul le matériel lourd et craignant les intempéries sera placé sous le toit de la zone expérimentale. Les équipements électroniques de détection seront localisés dans des bungalows extérieurs et la protection biologique sera également autant que possible située en dehors du hall. Ces différentes remarques ont donné lieu aux 2 plans réalisés par la société Technicatome<sup>38</sup>.

### l / Planning, personnel, prix :

Le Groupe de travail met tout de suite l'accent sur la nécessité de la mise en service rapide de l'accélérateur. Le planning se base sur 6 années de construction jusqu'à la mise en exploitation finale de l'accélérateur. Le Groupe pense qu'il est techniquement possible de fixer au 1<sup>er</sup> janvier 1976 le début de l'année 1 de construction. Nous verrons ce qui se produira plus tard<sup>39</sup>.

Pour ce qui est du personnel, le Groupe se base sur le chiffre de 24 personnes, dont 21 ingénieurs, ce qui représente l'effectif du groupe de projet, pour le début de la réalisation, chiffre qui atteint le nombre de 120 agents travaillant lors de la mise en fonction du laboratoire. Cet effectif sera revu à la hausse quelque temps plus tard.

---

<sup>38</sup> Annexes 9 et 10, plan du GANIL par la société Technicatome

<sup>39</sup> *L'accélérateur national d'ions lourds (GANIL)*, p.172 et annexe 11, planning général, avril 1975

Enfin, quant au coût total du projet, le groupe se réfère en grande partie aux conclusions du groupe de travail et établit un devis qui avoisine les 175 millions de francs, en s'appuyant également sur les réalisations étrangères voisines et ensuite recoupé par des pré-consultations industrielles effectuées auprès de sociétés françaises.

### m / Conclusions :

Nous laisserons ici la parole au groupe de projet<sup>40</sup> :

*« Le projet qui avait été préconisé en juillet 1973 par le groupe de travail est donc possible moyennant quelques aménagements d'ordre technique.*

*Compte tenu d'une part, des performances requises, qui se révèlent aujourd'hui comme raisonnablement sûres, et d'autre part du délai de construction souhaitable, le type d'accélérateur proposé apparaît bien être le meilleur.*

*En outre, les conditions de personnel et de budget ne sont pas très différentes des premières estimations.*

*Enfin, il est techniquement possible d'enclencher l'opération dès le début de 1976. »*

Le projet est désormais sur la piste de lancement. Seul la question du financement, la plus importante, n'est pas encore réglée. Malgré tout, le dossier est parfaitement réalisé et le projet viable.

Deux bémols à cet enthousiasme : tout d'abord, le Groupe de projet pense à cette date que le laboratoire sera installé près d'un centre de physique nucléaire important. Il a donc exclu de l'étude et du budget les éléments d'infrastructure centrale (ateliers, magasins, terminal d'un gros ordinateur) qui seraient nécessaires dans une implantation isolée, comme d'ailleurs les moyens indispensables à l'établissement permanent des physiciens sur le site, comme les bureaux, les laboratoires, les halls d'essais. Ainsi, la décision d'implanter le laboratoire à Caen en surprendra plus d'un. Ensuite, en raison de l'expérience accumulée sur la plupart des grands accélérateurs à l'époque en exploitation, comme le GSI de Darmstadt, le Groupe a supposé qu'il était techniquement possible de s'appuyer sur un potentiel pré-existant et que scientifiquement le physicien ne trouverait dans le laboratoire GANIL que ce qui est banalisé, comme le faisceau analysé ou bien les protections radiobiologiques, et devrait apporter avec lui la majeure partie de ses équipements expérimentaux. En réalité, le GANIL sera plus tard réputé pour la qualité et le nombre de ses équipements expérimentaux.

Nous entrons maintenant dans une phase particulièrement sensible du projet, celle de réalisation. La fin de l'année 1975 va tout d'abord être marquée par la décision de

---

<sup>40</sup> *L'accélérateur national d'ions lourds (GANIL)*, p.177

financement du laboratoire et par le choix de son emplacement. Alors remontons dans ces années passées, années remplies d'enthousiasme, de peurs, de surprise et de passion.

## C / Construire le GANIL à Caen : un choix surprenant :

### 1 / Un contexte économique peu propice :

A partir de 1974, l'économie française entre, comme celle des autres pays capitalistes industrialisés, dans une période de difficultés et d'incertitude que l'on a nommée la « crise »<sup>41</sup>. Le signal de la crise avait été donné par l'augmentation du prix du pétrole. Le 17 octobre 1973, pendant la guerre israélo-arabe du Kippour, les ministres de l'Organisation des pays arabes exportateurs de pétrole (OPAEP) avaient pris une série de décisions qui aboutirent au triplement du prix du pétrole, puis à son quadruplement. Entre le début de cette guerre et l'élection de Valéry Giscard d'Estaing à la présidence de la république, le prix du baril, 42 gallons soit 159 litres environ, était passé de 115 à 375 francs. Si la croissance n'avait pas été mise en cause en 1974, l'effet le plus préoccupant de la crise était une très forte poussée inflationniste. Dans l'ensemble des pays occidentaux, la hausse des prix de détail fut de 14 % contre 7,7 % en 1973 et 5 % en 1972. La France était déjà depuis plusieurs années sur une pente inflationniste, mais, entre décembre 1973 et février 1974, l'inflation y atteignait un rythme annuel de 15,6 %. Dernier point important : la balance du commerce extérieur, qui avait encore été positive en 1973, s'était fortement dégradée en 1974, pour atteindre un maximum de 18,2 milliards de francs. Dans ces conditions, nous comprenons bien que la science n'apparaisse pas comme une priorité essentielle durant ces années difficiles. Les coupes budgétaires se répètent sur les budgets alloués à la recherche, et le projet GANIL se rapproche dangereusement des oubliettes.

Lorsque Valéry Giscard d'Estaing arrive au pouvoir le 19 mai 1974, il se trouve rapidement face à un dilemme : comment parvenir à casser l'inflation sans briser la croissance économique afin de préserver l'emploi ?

Le 12 juin 1974, Jean-Pierre Fourcade, Ministre de l'Economie du gouvernement Chirac, présentait un plan d'assainissement économique qui visait à majorer l'impôt sur les revenus des sociétés et des gros contribuables, à relever le taux d'intérêt de l'épargne, à maintenir un strict encadrement du crédit, à réaliser des économies budgétaires d'un milliard de francs, et à opérer d'importantes économies d'énergie<sup>42</sup>. Il s'agissait ainsi de comprimer fortement les liquidités et d'empêcher le surinvestissement. Il était prévu que le plan Fourcade viendrait à bout en l'espace de 19

---

<sup>41</sup> Jean-Jacques Becker, *Nouvelle histoire de la France contemporaine, Crises et alternances, 1974-1995*, Paris, Editions du Seuil, 1998, p.62

<sup>42</sup> Jean-Jacques Becker, *Nouvelle histoire de la France contemporaine, Crises et alternances, 1974-1995*, Paris, Editions du Seuil, 1998, p.66

mois du déficit commercial français et réduirait notablement l'inflation. La première conséquence de ce plan fut un coup de frein sérieux à la croissance. Au bout d'une année, au début de l'été 1975, la baisse de la production industrielle française était d'environ 15 %. Pour le patronat, cette récession était la plus forte que la France ait connue depuis la Libération. Cette chute de la production se traduisit inévitablement par une très forte poussée du chômage. De 450 000 en février 1974, le chiffre des demandeurs d'emplois bondit à 689 000 en décembre 1974, pour atteindre à l'été 1975 le million ! Quant à la baisse de l'inflation, principal cheval de bataille du Ministre Fourcade et du Président de la République, elle n'était pas aussi importante que prévue : bien que la décélération des prix soit incontestable, l'inflation restait très forte, 9,2 % pour 1975. On entra ainsi dans une période où inflation et chômage se conjuguèrent, phénomène qui fut baptisé *stagflation*. En outre, sans être aussi mauvais qu'en 1974, le déficit du commerce extérieur restait élevé.

Devant les conséquences néfastes du plan de refroidissement de l'inflation, dont le chômage était la plus grave, des voix de plus en plus nombreuses s'élèvent pour réclamer une relance de l'activité économique. Jean-Pierre Fourcade y est opposé, mais le Premier Ministre Jacques Chirac, en est partisan. Pour ce qui est du Président de la République, il hésite. En réalité, tout au long du premier trimestre 1975, des mesures partielles de relance, fondées sur la dépense publique et le soutien de l'investissement privé, avaient été prises. Grâce à cette relance, des signes de reprise se manifestèrent à partir de juin et se confirmèrent tout au long de l'été. Dans ces conditions, le Président de la République, qui reconnaissait le 29 juillet que l'évolution économique n'avait pas été conforme aux prévisions, et que le bilan, positif en matière de contrôle des prix et de commerce extérieur, avait été négatif dans le domaine de la croissance et de l'emploi, estimait que le moment était venu d'une relance plus forte qu'il annonçait pour septembre. Le 4 septembre, il présentait à la télévision le « plan de soutien à l'économie » dont les mesures, qui devaient être appliquées entre le 15 octobre 1975 et le 31 mars 1976, représentaient au total 30,5 milliards de francs, soit une augmentation de 20,9 milliards de crédits budgétaires, destinés à aider les familles et les personnes âgées et à renforcer les investissements de l'Etat dans le domaine des équipements publics et industriels. Le financement du GANIL vient directement de ce plan de relance. Et c'est à ce moment qu'un homme va jouer un rôle essentiel dans le choix de l'emplacement du laboratoire : Michel d'Ornano. Intéressons-nous à cette décision.

## 2 / Le choix du site d'accueil de GANIL :

En juillet 1974, un questionnaire est envoyé à tous les préfets de région comme pré-consultations pour ce qui est du site d'implantation du laboratoire<sup>43</sup>. Très rapidement, quatre villes répondent au questionnaire et proposent un dossier solide : il s'agit de

---

<sup>43</sup> Annexe 12, questionnaire sur l'implantation du GANIL

Strasbourg, Grenoble, l'Isle-d'Abbeau et Bordeaux. Il existe auprès de ces quatre lieux possibles d'implantation un potentiel scientifique et technique très important, ainsi que de nombreuses possibilités d'accueil et de logements. Au cours de l'année 1975, d'autres sites font officiellement acte de candidature, comme Sophia-Antipolis et Caen. Tout au long de cette année, de rumeurs en rumeurs, on voit le GANIL parfois à Bordeaux, puis à Grenoble, puis à l'Isle d'Abbeau, puis à Sophia-Antipolis<sup>44</sup>. La candidature commune de Grenoble et l'Isle-d'Abbeau est de plus annoncée le 17 juillet 1975. Le site que défend cette candidature est particulièrement bien placé car il se trouve à deux heures d'autoroute du CERN de Genève et à quelques minutes de l'aéroport international de Satolas. Mais on ne parle jamais de Caen. Il est vrai qu'en ce qui concerne le potentiel technique et scientifique, malgré la présence du Laboratoire de physique corpusculaire, le LPC, Caen ne semble pas au même niveau que les autres candidats, et cela en rapport avec les recommandations du Groupe de projet qui souhaite voir le GANIL implanté dans un site où toutes les commodités d'accueil seront présentes. Mais n'oublions pas qu'au début de 1975, aucune décision n'a été prise. On parle évidemment d'un plan de relance économique, mais rien ne dit qu'il soutiendra la recherche française et ses investissements futurs. Bref, à ce moment, les défenseurs des sites se battent contre le vent.

Un homme rentre à ce moment dans la bataille. Il s'agit de Philippe Bauduin. Membre du CEBANOR, le Comité d'Expansion de Basse-Normandie, il connaît bien le dossier et se rend chez le préfet de Basse-Normandie. M. Bauduin a évidemment compris à ce moment la chance que serait pour Caen et pour toute la Basse-Normandie l'implantation de ce grand laboratoire. Malheureusement, M. Philippe Mestre, préfet de Basse-Normandie, qui a évidemment reçu le dossier de candidature, trouve le projet trop utopiste et trop important pour une ville comme Caen. Il faut rappeler ici que M. Mestre, qui venait d'être nommé à Caen, était en 1974 le directeur de campagne présidentielle de Jacques Chaban-Delmas, maire de Bordeaux. Et la ville de Bordeaux se trouve sur la liste des candidats à l'implantation de GANIL...

A l'université, c'est la même pensée qui ressort des discussions : c'est un projet trop ambitieux pour Caen, l'Université ne possédant pas mis à part le LPC, de structures de recherches assez compétentes. M. Bauduin ne se désarme pas, et par un ami du CNRS, il se procure une copie du dossier de candidature et prend rendez-vous avec le sénateur-maire de Caen, Jean-Marie Giraud, qui saisit immédiatement l'importance du projet et du pôle majeur d'attraction que GANIL peut constituer dans le domaine de la recherche scientifique. Aussi souscrit-il aussitôt à ce que le préfet envoie la candidature de la Basse-Normandie pour accueillir le GANIL. Ainsi, le 18 mars 1975, le préfet de région officialise la candidature de la région bas-normande et de la ville de Caen pour l'implantation de GANIL.

---

<sup>44</sup> PV du Comité de projet GANIL du 6 juin 1975, Archives du CNRS, Fontainebleau, F 880767 art. 8

C'est à ce moment que Michel d'Ornano rentre en jeu. Député-maire de Deauville et ministre de l'Industrie et de la Recherche du gouvernement Chirac depuis le 14 juin 1974, M. d'Ornano se situe à une place de choix quant à la décision finale d'implantation du laboratoire. Mais tout d'abord, il se doit de soutenir un dossier de candidature solide pour ensuite réussir à convaincre le Ministère de l'Economie et des Finances que la relance des investissements publics peut et doit s'appliquer autant aux laboratoires scientifiques et à leurs matériels qu'aux équipements collectifs. Ainsi, sur les milliards de francs d'achats et de commandes supplémentaires prévus par l'Etat dans le plan de relance, 10 % environ viennent soutenir la recherche scientifique et technique au titre des autorisations de programme. C'est alors qu'il s'engage résolument pour le projet GANIL et annonce le 4 septembre 1975 l'implantation à Caen du futur laboratoire. Le ministre précise alors que « *le choix de son emplacement traduit la volonté du Gouvernement d'un effort particulier dans l'Ouest de la France, et son souci de conforter le rôle scientifique de Caen*<sup>45</sup> ». Le financement de GANIL représente l'investissement de recherche le plus important du VII<sup>ème</sup> plan et rassure la Basse-Normandie qui n'avait pas bénéficié des investissements du VI<sup>ème</sup> plan. C'est le chiffre de 250 millions de francs qui fait l'unanimité à cette date, ce qui est assez proche du coût réel final du laboratoire.

Le rôle joué par Michel d'Ornano fut bien évidemment prépondérant. Le GANIL n'aurait pas été implanté à Caen si le ministre de l'industrie et de la recherche avait été un élu bordelais, lyonnais ou bien grenoblois. Il écrit d'ailleurs<sup>46</sup> :

*« L'objectif fondamental du VII<sup>ème</sup> plan transformera Caen pôle scientifique en Caen métropole scientifique. La récente implantation de GANIL à Caen amorce cette mutation ».*

N'oublions pas que l'implantation du GANIL en province relève du souci de décentraliser les différentes structures de l'Etat. Dès le début du projet, les membres du groupe mettaient l'accent sur la nécessité de construire le GANIL hors de la région parisienne, largement pourvue en centres de recherche fondamentale. Tant chez les scientifiques que chez les décideurs politiques, on relève un souci de décentraliser ce futur laboratoire. Le choix de la ville de Caen n'est tout de même pas uniquement un choix politique. Le site retenu a été très soigneusement étudié par les responsables scientifiques et techniques du projet et il figure parmi les quelques sites présentant à la fois par ses caractéristiques et son environnement toutes les qualités requises pour l'installation de cette grande entreprise scientifique. De plus, la région Basse-Normandie consent à un effort financier considérable, puisqu'elle s'engage dans le projet à concurrence de 21 millions de francs, dotation comprenant 7 millions venant du

---

<sup>45</sup> In *Ouest-France*, 5 septembre 1975, p.8

<sup>46</sup> In *Ouest-France*, 5 septembre 1975, p.8

Conseil général, 7 millions de la ville de Caen et 7 millions concernant l'expropriation des propriétaires terriens sur les communes de Caen, Epron et Hérouville-st-Clair. Il faut malgré tout noter que le conseil d'administration du CNRS et de l'IN2P3 n'ont pas été consultés quant au choix final de l'emplacement du futur laboratoire. Enfin n'oublions pas que cette décision fut prise sur les recommandations du Groupe de projet. Cette décision, qui peut évidemment être considérée comme un choix politique, n'en demeure pas moins respectueuse des impératifs scientifiques. Si le site de Caen n'apparaissait pas au cours de l'année 1975 comme la tête de liste, il reste malgré tout un site de grande qualité, tout particulièrement pour son environnement universitaire de noble réputation.

### 3 / La création du GIE GANIL :

Une fois l'emplacement du laboratoire décidé, une structure qui gèrera financièrement, administrativement et scientifiquement la bonne marche de la réalisation du projet doit être mise en place.

Une convention d'association avait déjà été signée le 2 janvier 1975<sup>47</sup> entre le CEA et l'IN2P3 en vue de faire procéder à des études d'avant-projet d'un accélérateur pour la physique des ions lourds. Cette convention allouait au Comité de projet la somme de trois millions et demi de francs pour l'année 1975. Elle restait valable jusqu'au 31 décembre 1975. Cette situation provisoire semblait tout fait propice aux études techniques alors que la décision de construire le GANIL n'avait pas encore été prise.

Mais la situation apparaît plus critique après la décision prise par le Ministre d'Ornano. Tout d'abord, il est absolument nécessaire que les équipes d'ingénieurs et de physiciens qui ont présidé à la réalisation des travaux théoriques continuent leur collaboration étroite afin de construire le GANIL. Ensuite, la dotation budgétaire prévoit que les fonds réservés à la réalisation du laboratoire seraient ajoutés aux budgets respectifs du CEA et de l'IN2P3. Cette situation pose alors un grave problème, car la gestion des fonds n'est pas la même entre le CEA et le CNRS. En effet, les procédures de contrôle quant à l'engagement des fonds, tout particulièrement quant à la somme engagée, ne sont pas du tout identiques.

Ainsi, à partir de septembre 1975, différentes réunions vont avoir lieu à l'IN2P3, au CEA et au Ministère des Finances pour décider du montage financier à mettre en place afin de gérer la construction puis l'exploitation du laboratoire. Très clairement, le Ministère du Budget et son représentant, M. Dutreix, s'oppose à la création de ce qu'ils nomment une « structure nouvelle »<sup>48</sup>. Ils préconisent plutôt la mise en place d'un montage juridique qui permettrait une gestion interne des fonds alloués au laboratoire.

---

<sup>47</sup> PV du Comité de projet GANIL du 7 janvier 1975, Archives du CNRS, Gif-sur-Yvette, G 950055 art. 2

<sup>48</sup> Compte-rendu de la réunion du 19 novembre 1975 au Ministère des Finances, Archives du CNRS, Gif-sur-Yvette, G 95055, art.2

Mais sur ce point, les directions du CEA et de l'IN2P3 restent inflexibles : les sommes engagées, environ 250 millions de francs, sont trop importantes et le projet beaucoup trop ambitieux pour simplement mettre en place des structures internes à chaque organisme, ce qui aurait pour effet de retarder la réalisation du GANIL. En effet, comme nous l'avons dit plus haut, les procédures du contrôle financier ne sont pas les mêmes entre le CEA et le CNRS. Lorsqu'une somme de plusieurs centaines de milliers de francs est investie pour la réalisation d'un appareillage, il existe au CEA un contrôle moins sévère quant à l'engagement des fonds, alors qu'au CNRS il existe un contrôle « à priori » qui vise à contrôler la validité du projet et la mise de fonds, puis un contrôle « à posteriori » qui sert à vérifier la bonne utilisation des fonds. Si chaque organisme est responsable des sommes engagées, nous nous apercevons que les appels d'offres ne pourront être passés en simultané, puisque les procédures de contrôle financier ne sont pas les mêmes, et la construction du laboratoire ne pourra alors tenir les délais prévus, ce qui donnerait à la France une belle machine, soit, mais probablement obsolète. Le CEA et l'IN2P3 sont tout à fait conscients de cet enjeu fondamental. C'est pour cette raison que les deux directions préconisent la constitution d'un GIE, un Groupement d'Intérêt Economique, institué par l'ordonnance du 23 septembre 1967 pour créer un cadre juridique nouveau, très souple, qui permet aux entreprises désireuses de conserver leur individualité et leur autonomie de regrouper certains de leurs services pour mettre en œuvre tous les moyens propres à faciliter ou à développer leur activité économique. En effet, le CEA et l'IN2P3 souhaitent s'associer dans ce cadre juridique à parts égales, 50% chacun, afin de déléguer à cette structure la responsabilité administrative et financière du projet et du fonctionnement futur du laboratoire. Ainsi, les problèmes de contrôle financier seraient facilement réglés dans le contrat constitutif du groupement, les deux directions souhaitant alléger ces procédures.

Mais le Ministère du Budget pose alors deux fortes restrictions à cette création. D'une part, il lui apparaît que les rédacteurs de l'ordonnance de 1967 n'avaient pas prévu la mise en place de cette structure entre deux organismes nationaux percevant leur budget directement de l'Etat. D'autre part, ce projet représenterait pour le Ministère un précédent fâcheux alors qu'à cette date on étudie à l'Assemblée nationale un projet de loi prévoyant la création d'un type de GIE adapté aux organismes publics, qui aura pour nom le GIP, le Groupement d'Intérêt Public. M. Dutreix, en accord avec le Ministère des Finances et la Direction du Budget préconise alors la création d'une mission commune du CEA et de l'IN2P3 avec un Comité de direction ou de Projet, reprenant l'organisation prévue dans le projet du GIE, mais sans structure juridique propre et avec un ordonnancement des dépenses par l'un des organismes, l'autre lui versant sa part. L'IN2P3 réagit alors vivement, déclarant qu'il n'est pas équipé pour répondre à une telle charge administrative et financière. Seul le CEA pourrait le faire, ce qui psychologiquement poserait des problèmes aux chercheurs et à la région Basse-Normandie qui a déjà des implantations du CEA à Cherbourg et à La Hague. De plus,

après interrogation des rédacteurs de l'ordonnance de 1967, il apparaît qu'il n'existe aucun inconvénient juridique à la constitution d'un GIE entre deux organismes d'Etat. La discussion apparaît alors bloquée entre le CEA et l'IN2P3 d'une part et la Direction du Budget d'autre part<sup>49</sup>.

Malgré tout, les deux organismes continuent à mettre en avant l'intérêt d'une structure paritaire qui permette une coopération de tous les physiciens sur un pied d'égalité tout en ayant une unicité de direction des équipes. Le mois de décembre 1975 est décisif quant à la décision de la constitution du GIE. La décision est définitivement entérinée, et le contrat constitutif du groupement signé par le directeur de l'IRF du CEA, M. Jules Horowitz, et par le directeur de l'IN2P3, M. Jean Yoccoz, le 19 janvier 1976<sup>50</sup>. Le 18 février 1976, conformément à la loi, le contrat constitutif du GIE Grand Accélérateur National d'Ions Lourds, avec pour sigle GANIL, est déposé au greffe du tribunal de commerce de Caen, et l'immatriculation du 20 février marque la création effective du groupement pour une durée de 30 ans<sup>51</sup>.

#### 4 / Le contrat constitutif du GIE et son règlement intérieur :

Tout d'abord, nous devons signaler que le Groupement est constitué à parts égales entre le CEA et l'IN2P3 sans capital propre. Le Groupement a également « pour objet de mettre en commun les connaissances, les expériences et les moyens techniques de ses membres en vue de leur permettre d'étudier, de réaliser et ultérieurement d'exploiter un accélérateur national d'ions lourds à Caen et d'une manière générale, d'effectuer toutes opérations se rattachant directement ou indirectement à cet objet ». Ainsi, la volonté forte de prolonger une étroite collaboration entre les équipes du CEA et l'IN2P3 se dégage de ce texte officiel.

Pour ce qui est de la question financière, le GIE étant constitué sans capital, le pourcentage engagé par chacun des membres sert de base à l'établissement des droits et des obligations quant à la participation aux opérations réalisées par le Groupement et donnant droit également à un vote proportionnel aux assemblées du Groupement.

Concrètement, les organes du groupement comprennent :

- ↳ L'Assemblée des membres, organe souverain, composée de deux personnes morales, le CEA et l'IN2P3, liées par le contrat constitutif et représentées physiquement par le Directeur de l'IN2P3 et par le Directeur de l'IRF du CEA.

---

<sup>49</sup> PV du Comité de projet GANIL du 12/11/1975, Archives du CNRS, Fontainebleau, F 880767 art. 8

<sup>50</sup> Annexe 13, Contrat constitutif du G.I.E. GANIL

<sup>51</sup> Annexe 14, extrait du registre du commerce, immatriculation du G.I.E. GANIL

- ↳ Le Comité de Direction, son président et son vice-président, une année le Directeur de l'IN2P3, la suivante le Directeur de l'IRF, qui ont fonction d'administrateurs. Le Comité est composé de dix personnalités scientifiques et responsables administratifs, à parité entre le CEA et l'IN2P3, nommés par l'Assemblée des membres. Le Comité de Direction a pour mission de définir la politique d'action et les orientations du Groupement et d'approuver le budget du Groupement ainsi que les modes de financement.
  
- ↳ Un Directeur et un Directeur Adjoint, Marc Lefort et Marcel Gouttefangeas en l'occurrence, qui assurent la gestion courante et le fonctionnement interne sous la responsabilité du Président du Comité de Direction. Ils sont également co-responsables du projet en raison de l'interpénétration entre les aspects scientifiques et techniques du programme GANIL. Le Directeur et le Directeur Adjoint sont nommés par le Comité de Direction sur proposition du CEA et de l'IN2P3. Si le Directeur nommé a été proposé par le CEA, le Directeur Adjoint est obligatoirement proposé par l'IN2P3, et inversement. En outre, le Directeur joue un rôle particulier en ce qui concerne les activités scientifiques liées à l'utilisation future des accélérateurs. Il organise à ce titre le travail du Comité scientifique et des groupes d'utilisateurs physiciens. Il préside ainsi le Comité scientifique. Quant au Directeur Adjoint, il possède une responsabilité toute particulière sur le plan technique. Il a la charge de mener à bien la construction des machines et dirige en qualité de chef de projet le groupe projet qui se consacre à cette construction.
  
- ↳ Le secrétariat général, représenté par le Secrétaire général du groupement, M. Dorlencourt, qui sous l'autorité du Directeur et du Directeur Adjoint assure la gestion administrative et financière du Groupement. Il a en charge l'élaboration des budgets prévisionnels, la liaison avec les organismes de tutelle du personnel, et toute la logistique de la gestion quotidienne du laboratoire, cette prérogative allant de l'accueil des équipes de chercheurs et de leur hébergement, en passant par la création d'une cantine pour le personnel.
  
- ↳ Une commission des marchés qui est saisie pour les projets de marchés d'études d'un montant supérieur à cinq cents mille francs, pour les sommes supérieures à deux millions de francs pour les marchés de gré à gré, ou trois millions de francs pour les marchés après appel d'offres.

- ↳ Une commission de contrôle des comptes, qui comprend deux contrôleurs nommés par l'Assemblée des membres, un contrôleur étant proposé par le CEA et l'autre par l'IN2P3.
- ↳ Le Comité scientifique, organe consultatif, dont les membres sont nommés par le président et le vice-président du Comité de Direction, chacun nommant les membres de son propre organisme sur proposition du Directeur du Groupement, et dont leur mandat est de trois ans renouvelable, qui examine les questions scientifiques, techniques et d'organisation ayant une incidence sur la réalisation du laboratoire. Il a en particulier pour tâche d'élaborer des propositions quant au mode de fonctionnement du laboratoire. Il formule ses avis et propositions auprès de la Direction du Groupement. Il assure enfin la liaison scientifique avec les laboratoires et services concernés des deux membres.
- ↳ Le comité d'expériences, chargé de réfléchir sur le thème scientifique des ions lourds et de regrouper les différentes propositions d'expériences qui pourraient être mise en œuvre lorsque le GANIL sera en exploitation.

En dernier lieu, il conviendrait de revenir sur la question du personnel. En effet, le GIE GANIL, nous l'avons déjà dit, est constitué sans capital, mais également sans personnel propre. En effet, les différents physiciens, ingénieurs et techniciens nécessaires à la réalisation du projet sont affectés à celui-ci par chacun des membres et restent régis, en ce qui concerne leurs situations individuelles, par les dispositions statutaires de leur organisme d'origine qui assure leur rémunération. Cette décision, nous le verrons par la suite, posera certains problèmes quant à la gestion des carrières et quant à l'impossibilité de pouvoir recruter du personnel propre au GANIL et de devoir ainsi attendre des affectations venant du CEA ou de l'IN2P3.

Si nous voulions résumer l'esprit de cette création, nous pourrions dire que les deux organismes fondateurs ont fortement souhaité donner une personnalité juridique au GANIL, afin de permettre au laboratoire, en concertation avec les directions du CEA et de l'IN2P3, de détenir une certaine autonomie financière qui lui permette de faire facilement évoluer selon les progrès de la physique nucléaire l'ensemble accélérateur et les futurs dispositifs expérimentaux. Ainsi, il n'existe au GANIL qu'un contrôle « à posteriori », donc après la réalisation du projet, qui donne la possibilité d'engager assez rapidement des sommes importantes sans contrôle « à priori » qui étudie quant à lui la validité financière d'un projet, comme il en existe au CNRS pour les marchés dépassant 300 000 francs. Le GIE détient ainsi une grande aisance financière qui le rapproche du fonctionnement budgétaire existant au CEA. Quant aux différents organes du GIE, ils se rapprochent assez sensiblement de l'organisation interne de l'IN2P3. En quelque sorte,

la fusion entre les activités de physique nucléaire et de physique des particules du CEA, du CNRS et de l'Université, que l'Etat français n'avait pas voulu réaliser aux débuts des années 70 et s'était alors simplement appliqué à réunir les forces du CNRS et de l'Université au sein de l'IN2P3, voit en partie le jour au sein du GIE GANIL. Les forces de ces deux grandes structures se trouvent ainsi réunies autour de ce grand projet. Le cadre institutionnel ainsi dressé, la construction peut alors commencer.

## D / La construction du GANIL : une belle aventure humaine :

### 1 / Un petit retour début 75 :

Le Comité de projet, malgré l'attente à cette date d'un plan de financement, continue ses études théoriques sur la machine. Après la publication du deuxième « livre bleu », le mois de mai 1975 voit la création de 2 groupes au sein du Conseil des physiciens<sup>52</sup>. Il s'agit tout d'abord d'une commission chargée d'étudier l'organisation des futures aires expérimentales et de définir précisément les gros appareils nécessaires, comme un spectromètre à grande résolution et un séparateur d'isotopes en ligne, appareillage de base recommandé par tous les physiciens. Un second groupe doit quant à lui s'intéresser aux matériels légers nécessaires au fonctionnement du laboratoire et au problème de l'acquisition des données, relais électronique et informatique indispensable au décryptage des expériences. Il faut également souligner qu'au cours de l'année 1975, l'ensemble de la communauté scientifique de physique nucléaire soutient avec vigueur le projet : en effet, le GANIL représente un formidable potentiel d'études et de découvertes devant lequel les scientifiques ne veulent pas passer. De plus, le futur laboratoire, selon les conclusions du « livre bleu » possède des caractéristiques techniques telles qu'il n'en existe pas ailleurs à la même date. Enfin, si nous nous risquons à donner une évaluation actuelle du coût du projet, cela nous amènerait à parler d'une somme d'environ 1 milliard de francs, soit 152 millions d'euros, ce qui représente une somme colossale qu'il faudrait de plus réactualiser en raison de l'augmentation des prix du bâtiment, des dispositifs expérimentaux, des accélérateurs. Pour information, le dernier grand projet américain présenté devant le Sénat en 1996 envisageait un coût total de 2 milliards de dollars. En résumé, cette future machine est attendue avec une grande impatience, et les travaux d'études avancent à grands pas. La communauté internationale des physiciens a les yeux braqués sur la France et attend avec passion la mise en service du futur grand laboratoire à vocation régionale, nationale et internationale.

---

<sup>52</sup> PV du Comité de projet GANIL du 6 juin 1975, Archives du CNRS, Fontainebleau, F 880767 art. 8

## 2 / La mise en chantier à Caen :

Après la décision de construire le GANIL à Caen, des contacts sont rapidement pris afin d'aménager le site présenté dans le dossier de candidature. Il faut en effet construire rapidement le bâtiment qui doit accueillir les ingénieurs et les techniciens qui vont mettre en place l'accélérateur. Il s'agit d'un terrain de 37 hectares situé sur les communes de Caen, d'Epron et d'Hérouville-st-Clair, le long de la route menant à la mer vers Douvres-la-Délivrande. Le 28 octobre 1975, un arrêté préfectoral prescrit une enquête parcellaire sur ces terrains, et elle commence le 6 novembre 1975. Il est suivi le 21 janvier 1976 d'un autre arrêté portant déclaration d'utilité publique le projet d'acquisition pour la ville de Caen des terrains nécessaires à l'implantation du GANIL. Le 20 février 1976, une seconde enquête parcellaire est prescrite, en raison de fortes contestations de certains propriétaires quant à la valeur des terrains expropriés. Enfin, le 24 mars 1976, l'arrêté préfectoral définitif d'expropriation est publié. La construction des premiers bâtiments peut alors commencer. Un appel d'offres est alors lancé le 22 décembre 1975 par le CEA pour le compte du GANIL. Sur les plans de M. Claude Renouf, architecte à Caen, l'entreprise en bâtiment RUFA commence au mois d'avril 1976 la construction d'un bâtiment de 5400 m<sup>2</sup> de bureaux et de laboratoires. Constitué de 3 ailes, il a une forme en T<sup>53</sup>. Cette construction sans véritable personnalité, qui fut fortement contestée sur sa forme architecturale lors des réunions du Conseil général, devait répondre à des impératifs de rapidité. En effet, la première partie du personnel détaché auprès du GANIL devait s'installer le plus rapidement possible sur le site. Ce bâtiment a donc répondu tout d'abord à des contraintes de célérité plutôt qu'à des exigences esthétiques. A partir d'août 1976, une partie du personnel mis à disposition du GANIL s'installe au lycée Fresnel de Caen. Le 15 octobre, une des ailes du bâtiment physiciens est occupée par les ingénieurs, techniciens, physiciens et personnel administratif. La construction s'achève complètement en janvier 1977<sup>54</sup>. A cette date, 42 personnes se trouvent sur le site du GANIL sur les 85 mises à disposition du laboratoire. Les groupes installés sont le Secrétariat administratif et les services techniques, le groupe de mécanique et le bureau d'études, le groupe théorie et paramètres et le groupe des transports de faisceaux<sup>55</sup>.

## 3 / Etudes, financement et réalisations techniques en 1976 :

L'année 1976 est véritablement décisive quant à la mise sur de bons rails de la phase de réalisation du laboratoire. Depuis juin 1976, une maquette \_ d'un des secteurs

---

<sup>53</sup> PV du Comité scientifique du GANIL du 21 avril 1976, Documentation GANIL

<sup>54</sup> PV du Comité scientifique du GANIL du 7 juin 1977, Documentation GANIL

<sup>55</sup> *Bulletin d'information GANIL*, n°3, février 1977, p.3 et annexe 15, photographies de la construction

magnétique est opérationnelle dans l'un des halls de Saturne à Saclay<sup>56</sup>. L'appareillage des mesures magnétiques a également été mis au point et a permis d'établir la carte de champ en valeur intégrale et d'étudier l'influence du champ à la pointe du secteur. A partir de la mi-décembre 1976, et afin de mieux connaître la région centrale, un ensemble plus complet d'appareillages a été réalisé avec 4 pointes de secteurs. Quant aux études mécaniques, elles sont faites au cours de cette année en collaboration avec des constructeurs qui seuls savent faire l'usinage de grosses pièces dont le poids dépasse les 60 tonnes. Ces études ont été confiées à Creusot-Loire et Brown-Boveri, qui rendent leurs conclusions en décembre.

Les études de haute fréquence sont pour leur part conduites à Orsay avec un amplificateur de 30 kW et une cavité de 3 m de long et de 1 m de diamètre<sup>57</sup>. Elles servent à vérifier la tension maximum de claquage et le courant maximum que l'on peut faire passer dans les contacts mobiles. Les premiers résultats apparaissent ainsi comme satisfaisants par rapport aux résultats escomptés. Le groupe de mécanique étudie quant à lui tout le berceau de la cavité.

Pour ce qui est des chambres à vide, le programme d'études prend du retard au cours de cette année en raison du manque de personnel adéquat. Cependant, les techniciens disposent vers la fin de l'année du principe d'une enceinte à vide, et les calculs de contraintes dans les parois, ainsi que l'étude de la jonction à l'environnement, les aimants et les cavités accélératrices, sont en cours d'acquisition.

Afin de régler le problème de l'établissement des codes de calcul de trajectoire suffisamment précis pour le cyclotron injecteur Co, il a été décidé de recourir à l'expérimentation et un programme de mesure à effectuer sur un modèle de cyclotron existant au CERN a été lancé dans le cadre d'une convention de recherches passée entre le GANIL et l'organisme européen.

Un point tout particulier étudié au cours de l'année 1976 concerne le système d'injection dans les CSS<sup>58</sup>. En effet, les études détaillées des conditions d'injection ont montré que la disposition géométrique de centre de CSS1 dépendait fortement de la vitesse des ions entrants. Il en résulte qu'il faudrait intervenir sur CSS1 plusieurs jours pour passer du mode CSS1 solo au mode CSS1 premier étage vers CSS2. Il est donc proposé d'utiliser de façon courante soit la voie Co + CSS1 + CSS2, soit la voie Co + CSS2, le centre du CSS2 étant adapté aussi bien à l'entrée des ions venus de CSS1 après épluchage que celle des ions venus de Co avec état de charge élevé. Co + CSS1 ne serait alors utilisée qu'en cas de panne longue durée sur CSS2, la durée justifiant une intervention de l'ordre d'une semaine sur le centre de CSS1.

Pour rester dans le même domaine, il faut signaler que plusieurs idées qui seront retenues par la suite voient le jour en 1976. Ce fourmillement d'idées peut être

---

<sup>56</sup> Annexe 16, photographie de la maquette

<sup>57</sup> Annexe 17, photographie de la cavité accélératrice expérimentale

<sup>58</sup> PV du Comité scientifique du GANIL du 21 octobre 1976, Documentation GANIL

d'ailleurs personnifié par les « journées GANIL », qui se sont tenues en juin 1976 à SUPELEC Orsay et qui ont rassemblé plus de 80 personnes<sup>59</sup>. Il s'agissait d'une première prise de conscience et d'une réflexion sur les choix à faire en matière de gros équipements et de dispositifs expérimentaux à partir des connaissances sur les expériences réalisées dans le monde à cette période. Il ressort de ce séminaire que les choix des dispositifs doivent se faire en collaboration étroite avec les physiciens qui réaliseront leurs expériences au GANIL, mais également que ces gros équipements doivent être conçus dans le cadre d'une concertation nationale. Cependant, en 1976, il est impossible de lancer de véritables études car il émane de ce colloque une volonté de créer des dispositifs expérimentaux modernes et innovants. Il ne faut absolument pas reconstruire des dispositifs existants. Sur ce point, les physiciens sont tout particulièrement attentifs aux progrès réalisés au GSI de Darmstadt. Malgré tout, des idées assez novatrices sont explicitées lors de ces discussions. Depuis le mois de mai, elles concernent l'utilisation d'un spectromètre placé à la sortie des CSS indispensable au contrôle de la résolution en énergie de la machine, à son réglage et donc à son bon fonctionnement. Le groupe de travail sur les aires expérimentales recommande donc très vivement la mise en œuvre d'un spectromètre à 2 aimants délivrant un faisceau achromatique. Ce groupe travaille également sur le partage du faisceau, et insiste sur un partage en temps, au lieu d'un partage par septum comme prévu dans le projet initial. En effet, un prélèvement court permet d'envoyer un faisceau secondaire vers une salle où se prépare une expérience. Cette méthode peut être appliquée grâce à des aimants pulsés. Le groupe continue à étudier ces différentes hypothèses. Ces nouvelles recommandations ont un effet direct sur l'organisation spatiale des bâtiments. En effet, le spectromètre nécessite une déviation de 90°, ce qui entraîne le déplacement du bâtiment des aires expérimentales à la perpendiculaire du bâtiment machine. Une esquisse de plan masse est ainsi ébauchée en attendant les travaux plus précis de cabinets d'architectes. Dernier point important : l'idée d'une seule ligne de conduite de faisceau distribuant à droite et à gauche, la fameuse « arête de poisson », est maintenue.

Un dernier point assez préoccupant pour le Comité de Direction et le Comité scientifique est le problème du personnel. En effet, l'implantation du GANIL à Caen accroît la charge de travail des différents groupes et commissions. Au 31 décembre 1976, l'effectif GANIL se monte à 84 personnes, ce qui semble assez insuffisant pour les études à venir. Différentes démarches sont effectuées auprès des directions de l'IRF du CEA et de l'IN2P3.

Enfin, concluons cet état des lieux 1976 par la question du budget<sup>60</sup>. Il est de 33 millions et conforme au calendrier prévu. Mais de grandes inquiétudes naissent quant aux budgets 1977 et 1978, car les dotations budgétaires ne seraient pas aussi importantes que prévues. On parle d'une réduction de 30 millions en 1977. Ces problèmes financiers

---

<sup>59</sup> *Premières Journées GANIL, juin 1976*, GANIL, 138 pages, Documentation GANIL

<sup>60</sup> Rapport d'activité 1976 du G.I.E. GANIL, Documentation GANIL

peuvent retarder la réalisation du projet, et c'est ce qui va se produire. Malheureusement, ce problème de dotations budgétaires revient tout au long de la phase de réalisation du GANIL

#### 4 / 1977 : un grand effort pour les cyclotrons :

##### a / Les solutions techniques retenues :

L'année 1977 est une étape décisive dans la réalisation du projet. En effet, elle marque la fin des études théoriques, des dossiers de projet et laisse la place aux appels d'offres sur les principaux constituants de la machine, à savoir les pièces des accélérateurs, le cyclotron injecteur, le spectromètre d'analyse, les lignes de faisceaux, les chambres à vides, etc. Le budget prévu initialement pour les engagements de 1977 était de 100 millions de francs ; il est réduit à 72 millions, ce qui ne pose pas trop de problèmes de gestion financière des commandes et des appels d'offres si les budgets suivants reprennent le projet initial<sup>61</sup>. Quant au personnel, il est dans son ensemble à Caen depuis le 1<sup>er</sup> septembre. Dans ce domaine, un effort tout particulier est consenti par l'IN2P3 dans le domaine des techniciens affectés au projet. La part de personnel IN2P3 dans le projet passe de 56 % à 65 % : sur 117 personnes affectées au GANIL en décembre 1977, 76 font partie de l'Institut national, contre 41 pour le CEA. Nous pouvons d'ores et déjà indiquer une des caractéristiques fortes de la composition du personnel : si le CEA et l'IN2P3 participent à parts égales en ce qui concerne les ingénieurs concepteurs de la machine, l'IN2P3 est assez largement majoritaire chez les techniciens et le personnel administratif. Ceci nous montre très clairement l'importance du projet pour l'IN2P3 : c'est l'image de cette structure qui est en jeu dans ce projet. Elle doit se montrer capable de mener une réalisation de grande envergure aux côtés d'un partenaire à l'avenir assuré, le CEA. C'est pour légitimer sa place de grande structure nationale de recherche que l'IN2P3 s'investit autant en moyens financiers et humains. Le résultat sera à la mesure des efforts déployés. Mais revenons aux évolutions de 1977.

Deux points marquants concernent le CSS. Tout d'abord, le rayon intérieur  $R_i$  d'un CSS prévu à 0,75 m s'est révélé trop petit pour recevoir les éléments d'injection et les espaces<sup>62</sup>. Il convenait de l'augmenter au minimum à 0,80 m. Pour conserver  $R_s/R_i = 4$ ,  $R_s$  passait à 3,2 m. Dans ces conditions, l'accroissement de poids de 12 % se traduisait par une augmentation de prix de 6 à 10 %. Pour pallier cet inconvénient, il a été décidé de conserver  $R_s = 3$  m mais de ramener le rapport  $R_s/R_i$  à 3,5 au lieu de 4. Le rapport des charges après et avant épluchage doit donc être également de 3,5. Ce rapport est en réalité beaucoup mieux adapté que le rapport 4 au taux d'épluchage le plus

---

<sup>61</sup> Rapport d'activité 1977 du G.I.E. GANIL, Documentation GANIL

<sup>62</sup> PV du Comité scientifique du GANIL du 7 juin 1977, Documentation GANIL

probable pour la plupart des ions. Mais si l'on veut maintenir les énergies élevées de GANIL, il faut que le Co injecte les ions à une vitesse plus grande puisque le gain des CSS, égal au carré du rapport du rayon de sortie au rayon d'entrée, est plus faible. La solution trouvée conserve les normes GANIL, optimise les conditions d'épluchage et permet à l'ensemble accélérateur d'être potentiellement plus ouvert aux progrès des sources d'ions vers des états de charge plus élevés. Le Co doit donc fournir une énergie plus élevée, et le rayon de sortie doit être accru d'environ 10 %, ce qui est techniquement possible sur la culasse commandée pour mars 1978. D'autres études restent à mener, tout particulièrement sur les conditions d'éjection. Le deuxième point concerne les aimants des CSS. La société choisie après l'appel d'offres du 23 février 1977 est ALSTHOM ATLANTIQUE. Cette commande représente la somme de 32,8 millions de francs, un des postes principaux du projet avec les infrastructures. Les culasses sont en acier laminé Marrel et les pôles en acier forgé Krupp, suivant les recommandations dont nous avons parlé plus haut. Selon le planning initial, le premier aimant de CSS1 sera sur le site de Caen le 15 octobre 1978 ; le quatrième aimant de CSS1 le 15 juin 1979. Le quatrième aimant de CSS2 arrivera à Caen le 15 décembre 1979. La fabrication se fera à l'usine de Belfort<sup>63</sup>. Pour différentes raisons que nous évoquerons, le planning prendra un certain retard.

Des études importantes sont menées au cours de l'année afin de régler le problème des chambres à vide. En effet, c'est un élément essentiel du dispositif accélérateur. Nous l'avons déjà évoqué. La façon la plus sûre de réaliser les chambres est de les faire sous forme monobloc soudée en usine car il faut limiter au maximum les soudures faites sur le site de Caen qui seront nécessairement de moins bonne qualité. Dans sa grande dimension, cette chambre a 6 mètres et pèse 70 tonnes. Elle sera faite en acier inoxydable. Le transport sera délicat et nécessitera un mannequin pour la consolider. La chambre doit également être disponible en même temps que les aimants, car le montage, pour des raisons mécaniques, s'effectue en installant les 4 secteurs inférieurs, la chambre, et les 4 secteurs supérieurs qui verrouillent le cyclotron. L'appel d'offres est donc lancé le 30 août 1977 et c'est la société NEYRPIC qui remporte le marché.

Une des discussions principales de l'année concerne le problème du flat-topping. Le groupe haute fréquence n'est pas assez étoffé pour mener de front, en 1978, la réalisation des cavités principales et des amplificateurs et l'étude de réalisation des cavités de flat-topping. De plus, lorsqu'un premier faisceau sera essayé, la complexité du réglage avec flat-topping risque de rallonger fortement les délais de fourniture d'un faisceau et il apparaît alors plus raisonnable de travailler d'abord avec les CSS sans flat-topping. Malheureusement, les caractéristiques du faisceau sans flat-topping ne répondent plus aux caractéristiques de la norme GANIL. Le comité scientifique admet alors qu'il faudrait une aide extérieure et exprime ainsi sa position<sup>64</sup>:

---

<sup>63</sup> Annexe 18, CSS ensemble monté

<sup>64</sup> PV du Comité scientifique du GANIL du 16 novembre 1977, Documentation GANIL

*« Le Comité scientifique GANIL réaffirme l'importance des normes de qualité de faisceau de GANIL définies en avril 1975. Il considère que ces normes doivent être respectées si possible dès les premiers faisceaux. Ceci nécessite l'étude, la réalisation et la mise en place à temps des cavités de flat-topping, étant donné l'insuffisance que présenteraient les performances sans cet appareillage. Le Comité constate que les forces actuelles du groupe technique ne permet pas de lancer cette étude dans l'immédiat. Il souhaite qu'un appel d'offre de sous traitance soit fait dans les laboratoires pour étude et réalisation de ce projet. »*

Malgré les nombreuses difficultés qui apparaissent, les laboratoires ayant aussi leurs projets propres, des possibilités sont explorées à Saclay et à l'IPN d'Orsay. Mais cette possibilité est abandonnée un an plus tard et les ingénieurs réussissent par la suite à adapter les caractéristiques de la machine à la norme GANIL sans ce procédé.

Pour ce qui est des autres tests, ils se poursuivent tout au long de l'année. Les tests magnétiques et électriques sur les bobines sont réalisés chez le constructeur Alsthom-Atlantique. Au mois de septembre, une maquette de cavité accélératrice échelle 1/3 est pour sa part en place au GANIL et doit permettre de mesurer différents paramètres électriques et mécaniques<sup>65</sup>. Quant aux études de principe de Co entreprises à l'IPN d'Orsay, elles sont pratiquement terminées en décembre 1977 et les résultats des mesures d'émission, d'intensité et de phase du faisceau, ont montré que l'injecteur Co pouvait effectivement fournir sans difficulté les qualités de faisceau exigées pour l'injection dans CSS1 et pour les normes d'émission, résolution en énergie et intensité définies dans le « livre bleu ».

Il nous reste un dernier point à aborder : celui des deuxièmes journées GANIL, qui se sont tenues les 2,3 et 4 novembre à Bréville-les-Monts, à quelques kilomètres de Caen<sup>66</sup>. Une centaine de physiciens et une douzaine d'ingénieurs du GANIL y participaient. Les conclusions des groupes des aires expérimentales et d'acquisition de données y ont été présentées, ainsi qu'un exposé sur l'état d'avancement de l'accélérateur. Différentes discussions ont tourné autour du choix des dispositifs expérimentaux, des relais électroniques et informatiques d'acquisition de données ; les dispositifs expérimentaux utilisés auprès de l'accélérateur Unilac du GSI de Darmstadt ont été présentés. La question du séparateur d'isotopes comme dispositif expérimental a été très sérieusement abordée, et des études doivent se poursuivre dans ce sens dans différents laboratoires. Une commission des spectromètres est d'ailleurs mise en place pour étudier ce sujet. Ces journées avaient malgré tout pour but essentiel d'informer les physiciens sur l'évolution de la construction des accélérateurs. Un dernier élément essentiel de ces journées reste la table ronde sur l'organisation du laboratoire GANIL. Il en ressort que

---

<sup>65</sup> Annexe 19, photographie de la maquette du résonateur

<sup>66</sup> Deuxièmes journées GANIL, 2,3 et 4 novembre 1977, GANIL, 164 pages, Documentation GANIL

le GANIL doit rester avant tout un laboratoire d'accueil dans lequel les physiciens pourraient rester pour des périodes allant d'une semaine à plusieurs mois. Mais il est également essentiel pour assurer une liaison scientifique entre les équipes de chercheurs et pour donner un certain poids scientifique au GANIL qu'il y ait sur place un certain nombre de physicien qui entretiennent une vie scientifique riche au sein du laboratoire, se consacrant ainsi à leurs études et à une aide encore non précisée auprès des physiciens visiteurs. Deuxième point : il semble essentiel qu'il existe au GANIL un support technique de qualité, servant lui aussi de relais aux équipes de chercheurs pour les problèmes de mise en place des expériences et de dépannage technique et mécanique. Les problèmes d'hébergement ont également été soulevés, et la possibilité de construire une maison d'hôtes a été longuement évoquée. Les prochaines journées GANIL sont prévues pour l'automne 1979.

### b / Bâtiments et aires expérimentales :

Nous l'avons signalé il y a quelques lignes, le premier secteur du cyclotron CSS1 doit arriver en octobre 1978. Dans cette optique, le bâtiment machine doit être prêt à le recevoir. En février 1977, une société d'ingénierie, Studeurop-Sofresid, a été choisie et travaille en étroite collaboration avec la Direction GANIL à la réalisation de l'avant-projet sommaire. Présenté en avril au GANIL, il a servi de base à un concours d'architectes organisé à Caen par la Direction Régionale de l'Équipement. Ce concours d'idées s'est terminé le 13 mai par la désignation de trois lauréats parmi 14 concurrents. Le jury constitué de représentants des collectivités locales, des architectes, des autorités ministérielles et du GANIL a donc proposé un classement au Comité de Direction qui a choisi, le 18 mai M. Leverd, architecte à Paris récemment installé dans la Manche, à Granville plus précisément. Au mois d'août, la société d'ingénierie, le groupe de travail de l'architecte et le GANIL présente l'avant-projet détaillé qui définit les contraintes et le coût général de l'ouvrage<sup>67</sup>. L'enveloppe nécessaire représente un investissement de 40 millions de francs environ, ce qui reste dans les limites prévues dans le « livre bleu ». Le but recherché est de réaliser un ensemble ayant une allure agréable tout en maintenant le coût au minimum. La surface des aires expérimentales est de 4000 m<sup>2</sup>, ce qui est considérable. Mais l'importance des murs de protection et la séparation en plusieurs salles conduisent à une surface utile de 2500 m<sup>2</sup> environ. Après appel d'offres sur le bâtiment machine, le chantier est attribué à l'entreprise RUFA, qui continue son travail sur le site après la réalisation du bâtiment physiciens et ingénieurs. Enfin, les appels d'offres ont été lancés par les services de la ville de Caen pour le poste électrique, le financement de ce poste étant à leur charge, et l'avant-projet détaillé du bâtiment énergie qui contiendra les alimentations et la réfrigération est prévu pour janvier 1978. Tout dernier point, un point bien sombre pour la tenue des délais du

---

<sup>67</sup> Annexe 20, plan masse des bâtiments machine et aires expérimentales

projet : en raison d'une réduction drastique des crédits engagés en 1978 dont nous parlerons dans quelques instants, le bâtiment des aires expérimentales dont l'avant-projet sommaire est terminé depuis juin 1977, ne pourra être construit qu'en 1979. La Direction va alors employer toute son énergie pour trouver un autre type de financement, le statut juridique du laboratoire le lui permettant. Et la solution viendra, par chance pour le projet, d'une nouvelle dotation de la région Basse-Normandie. Nous aurons l'occasion d'y revenir.

### 5 / 1978 : une année difficile :

#### a / 30 millions de francs de subventions en moins :

Sur la dotation budgétaire de 94 millions de francs prévue initialement en 1978, seulement 63 millions ont été affectés<sup>68</sup>. Le Comité de Direction a donc examiné avant toute chose ce qu'elle devait impérativement conserver dans le planning 1978, et a pris comme attitude de principe qu'elle conserverait l'objectif d'un faisceau en 1981, en tablant sur un rattrapage important des crédits en 1979. Les secteurs clefs sont bien évidemment maintenus pour 1978. Il s'agit des circuits magnétiques et des bobines dont la commande est déjà faite par tranches, des bâtiments machines, alimentations et salle de commande, l'injecteur Co et deux cavités HF sur 4. Cet ensemble représente une prévision d'environ 60 millions de francs, à laquelle il faut absolument ajouter un minimum de crédits sur les lignes de transfert de faisceau et sur le spectromètre. Malheureusement, les conséquences principales sont de repousser à 1979 tout démarrage du côté des aires expérimentales, ce qui comprend le bâtiment, le transport du faisceau et l'acquisition informatique, de rendre encore plus tendu le planning au cours des années 1979-1980-1981 puisque les lignes de faisceaux seront mises en place au dernier moment, et de rendre plus aigu le besoin en personnel en 1979, même si les budgets en 1979 et 1980 permettent les réalisations. Dans cette optique, le Comité scientifique adopte le texte suivant<sup>69</sup>:

*« Le Comité scientifique GANIL soutient sans réserves les efforts de la Direction de GANIL de fixer l'objectif 1981 pour la fourniture du premier faisceau. Il lui apparaît nécessaire, pour mener à bien cet objectif qu'un effort important de redressement soit assuré tant en moyens qu'en personnels dans l'établissement du budget 1979. Il regrette profondément que les insuffisances du budget 1978 conduisent au report des réalisations importantes prêtes à être engagées dès le début 1978, en particulier pour les aires expérimentales. Il regrette le fractionnement de la réalisation des bâtiments et des commandes de cavités accélératrices de radiofréquences, fractionnement qui ne*

<sup>68</sup> Rapport d'activité 1978 du G.I.E. GANIL, documentation GANIL.

<sup>69</sup> PV du Comité scientifique du GANIL du 23 novembre 1978, Documentation GANIL

*peut être qu'onéreux. Il souhaite qu'un effort financier exceptionnel soit consenti en 1978 pour un engagement complet des marchés en question. »*

A cette même période, se rajoutant à ce problème financier préoccupant, une campagne de dénigrement systématique à l'encontre du projet s'intensifie. De graves critiques totalement infondées font l'état de l'abandon du projet ou du déplacement du laboratoire. Le Conseil scientifique de l'IN2P3 est obligé de démentir officiellement ces rumeurs qui se répandent comme une traînée de poudre dans la communauté scientifique et en France. Malgré l'effort de communication du GANIL, ces rumeurs ne disparaîtront que lors de la mise en service du laboratoire.

### b / Des réalisations en vraie grandeur :

Au mois de juillet 1978, les 32 pièces de culasses de CSS1 sont toutes coulées par l'entreprise Marrel. Elles représentent environ 1600 tonnes. Ce sont 21 de ces pièces qui ont d'ores et déjà été laminées, pré-usinées et testées. Les pièces constitutives du premier secteur aimanté, appelé prototype, ont été sélectionnées et leur usinage a commencé début juin chez Alstom. Ce prototype doit arriver sur le site de Caen au tout début de 1979 avec trois mois de retard. Les autres secteurs devraient suivre sans délai au cours du premier semestre 1979. La maquette \_ de l'aimant principal dans sa configuration définitive a permis quant à elle de fournir les premières cartes de champ<sup>70</sup>. Enfin, la possibilité de doter le laboratoire d'un second cyclotron injecteur Co2 identique ou non à Co est évoqué, mais cette question n'est pas urgente, et les restrictions budgétaires empêchent de lancer un quelconque projet. En ce qui concerne les nappes polaires, elles ont été commandées à la société DANFYSIK au mois d'octobre et sont donc en début de fabrication, la société retenue ayant mis beaucoup de temps à préparer le dossier de fabrication. Leur arrivée est prévue en fin 1979. Enfin, l'acier inox 316 L est approvisionné au mois de juin pour les chambres à vide construites par la société Neyrpic<sup>71</sup>.

Pour ce qui est des résonateurs, les mesures sur maquette 1/3 au début 1978 ont indiqué une fréquence maximale trop élevée. On a également observé la présence d'une résonance à environ 3 fois la fréquence fondamentale, ce qui peut entraîner une déformation du signal HF. Un filtre coupe-bande doit permettre une atténuation suffisante pour éliminer ce problème. Toujours concernant les résonateurs, la société CGR MeV a remis au GANIL en avril 1978 les résultats du contrat d'étude préliminaire portant sur les problèmes thermiques et mécaniques. Suite à ces résultats, de longues discussions ont eu lieu pour abaisser le coût du contrat d'étude définitif des résonateurs

---

<sup>70</sup> Annexe 21, maquette \_ des secteurs magnétiques

<sup>71</sup> *Bulletin d'information GANIL*, n°5, juillet 1978, p.2, Documentation GANIL

des CSS et du Co. Le 15 mai 1978, un contrat a été signé associant la CGR MeV et la société SEIV. Dix mois d'études sont nécessaires avant le lancement en fabrication<sup>72</sup>.

Les sources d'ions représentent un important travail de recherches<sup>73</sup>. Depuis février 1978, des études de sources d'ions du type PIG sont faites à Caen avec un banc d'études qui permet d'effectuer deux types d'expériences. Dans la première expérience, on mesure les intensités de courant des différents états de charge après une rotation des ions à 180° dans le champ magnétique. La seconde expérience consiste à sortir du champ magnétique un état de charge donné après une rotation de 125° et de mesurer l'émittance de ce faisceau. Dans ce cas, il est possible aussi de faire des spectres d'états de charge en fonction de la tension d'extraction ou du champ magnétique. Ce banc d'étude va permettre en outre, de tester et de mettre au point la technologie des sources PIG à sputtering, capables en principe de créer des ions à partir de tous les éléments de la classification avec des états de charge allant jusqu'à onze pour l'uranium. Des essais satisfaisants ont commencé en 1978 avec le cuivre.

Une autre réalisation technologique de qualité concerne le spectromètre en alpha<sup>74</sup>. Afin de faciliter le réglage des cyclotrons, de garantir aux utilisateurs un faisceau filtré en énergie et conserver à l'enveloppe du faisceau des dimensions raisonnables, il a été décidé d'installer en aval des cyclotrons un ensemble magnétique qui a reçu le nom de spectromètre en alpha. Il comprend une première section dispersive composée des dipôles D1 et D2, terminée par un analyseur d'image suivi de fentes assurant le filtrage en énergie du faisceau, puis une section de compensation formée des dipôles D3 et D4 dont le rôle est de délivrer un faisceau achromatique dévié dans la direction des aires expérimentales. Un triplet de quadrupôles situé dans la partie centrale assure le double achromatisme spatial et angulaire et permet d'obtenir dans la seconde section une enveloppe de faisceau identique à celle de la première section. Dans le cadre d'une convention entre le GANIL et le Centre de Recherches Nucléaires de Strasbourg, la réalisation de ce spectromètre est prise en charge par une équipe du CRN Strasbourg<sup>75</sup>.

L'acquisition des données est une question qui cause beaucoup de soucis à la Direction du GANIL. La qualité du résultat d'une expérience dépend beaucoup du système d'acquisition. Après les deuxièmes journées GANIL et les réflexions sur ces systèmes, un dossier d'appel d'offres a été envoyé aux principaux constructeurs en août 1978 et l'ouverture a eu lieu le 20 octobre de la même année. Les coûts globaux s'échelonnent alors de 3,5 à 6 millions de francs. Il apparaît alors que la plupart des sociétés ne répondent pas aux spécifications exigées. Après une nouvelle consultation, la décision finale est remise à l'année 1979, avec un engagement de crédits initial. Le Comité scientifique donne malgré tout l'avis de recommander le constructeur le plus

---

<sup>72</sup> PV du Comité scientifique du GANIL du 23 novembre 1978, Documentation GANIL

<sup>73</sup> Annexe 22, photographie de la source d'ions

<sup>74</sup> Annexe 23, plan du spectromètre en alpha

<sup>75</sup> PV du Comité scientifique du GANIL du 23 novembre 1978, Documentation GANIL

performant et dont le suivi de fabrication, la maintenance et le potentiel humain sont tels qu'ils peuvent assurer au GANIL une tranquillité d'esprit dans ce domaine.

Venons en maintenant à la commission des spectromètres. Lors du Comité scientifique du 27 juin 1978, 2 avant-projets « SPEG » et « ANGELLINA » ont été présentés. Ces deux appareils ont une faisabilité et des coûts assez proches. Un groupe de travail a alors été chargé de rechercher un compromis entre les 2 systèmes de façon à aboutir à un seul projet. Les conclusions de ce groupe sont les suivantes : le SPEG, qui a la préférence des membres, doit être réfléchi comme un système permettant de faire à la fois de la haute résolution et de la détermination de masses. Il leur apparaît aussi nécessaire de constituer une équipe ayant les moyens d'élaborer un projet détaillé en 1979. Cette équipe travaillera en collaboration avec les physiciens intéressés à la détermination des masses et de la haute résolution. La Direction du GANIL décide également de négocier avec les laboratoires la sous-traitance de cette étude.

### c / La construction du bâtiment machine :

Le chantier du bâtiment machine est ouvert depuis le début janvier 1978. Fin juin, les travaux de génie civil sont terminés pour l'essentiel. Le terrassement a conduit à transporter 24 000 m<sup>3</sup> de terre et 7800 m<sup>3</sup> de béton ont été coulés. La construction de la charpente a commencé au mois de juillet : elle représente 610 tonnes d'acier. La couverture se termine au mois d'octobre<sup>76</sup>. Ensuite, le mois de novembre voit l'installation du pont roulant de 85 tonnes et l'aménagement intérieur se termine au mois de mars 1979, ce qui marque la livraison du bâtiment. Les éléments de l'accélérateur peuvent alors arriver. Le terrassement du bâtiment énergie a débuté quant à lui le 7 juin et la livraison est prévue pour le premier semestre 1979. Dernier point pour conclure l'histoire de cette année 1978 : les effectifs globaux ont continué d'augmenter ; ils sont passés de 117 fin 1977 à 140 fin 1978, ce qui fait une augmentation de 20 %. Mais le manque d'effectif en techniciens se fait toujours sentir...

### 6 / 1979 : arrivée, assemblage et test des premières pièces :

#### a / Avancement de la machine :

La fabrication des 8 circuits magnétiques se déroule tout au long de l'année 1979. Les culasses en acier laminé Marrel sont totalement approvisionnées en mars et la société Alsthom procède à la construction des secteurs. Les 16 pôles sont coulés et l'usinage a lieu à Saint-Nazaire chez Alsthom-Atlantique. Le montage de chaque secteur est fait à Belfort puis après réception en usine, le transport a lieu sur le site de

---

<sup>76</sup> Annexe 24, photographies de la construction

GANIL à Caen<sup>77</sup>. Le premier secteur de CSS1 est arrivé fin mars 1979, et les trois autres sont arrivés à un rythme de un par mois à partir de la fin mars. Ce premier secteur est monté sur ses plaques d'encrage pendant le mois d'avril. Au mois d'août, les 4 secteurs de CSS1 sont au GANIL. Ils sont entièrement montés en octobre ; fin décembre, il manque simplement quelques fournitures comme des flexibles, et une paire de bobines bloquées à Belfort par la grève d'Alsthom de 1979. En raison de la même grève, les éléments du CSS2 ne sont toujours pas livrés, et la Direction du GANIL attend la reprise réelle de l'activité de l'usine. Tout au long de l'année, des tests de champ magnétique sont effectués sur ces différents éléments. Les mesures magnétiques effectuées sur le premier secteur ont conduit à des résultats conformes à ce qui était attendu d'après les mesures sur le prototype. Et surtout, elles ont permis la mise au point définitive de l'appareil de mesure qui sera opérationnel pour les mesures sur les 4 secteurs ensemble. Pour ce qui est du cyclotron injecteur Co, les principaux constituants sont au GANIL en décembre 1979 : l'aimant et l'alimentation sont livrés et montés, et la chambre est montée et essayée au vide grâce à la pompe cryogénique elle aussi sur place. Les autres soucis de la direction concernent les nappes polaires des CSS et les chambres à vide. Les nappes polaires ont été commandées à la société Danfysik et les premières devraient être livrées début 1980. L'inquiétude porte sur le respect des tolérances des cotes de boîtes à vide en acier inox et des risques de déformation. Tout au long de l'année, les ingénieurs mécaniciens et ceux du groupe aimants suivent de près les réalisations des sous-traitants de Danfysik<sup>78</sup>. En ce qui concerne les chambres à vide, c'est le risque de retard d'usinage de la première chambre à vide chez Neyrpic qui pose problème<sup>79</sup>. En effet, ce composant essentiel et volumineux devrait normalement arriver en mars 1980, mais les renseignements font craindre un retard de trois mois dont les conséquences sur le planning sont graves. En dernier lieu, il faut dire que les études de définition et de fabrication des résonateurs sont achevées, et la fabrication des 4 cavités commandées à la société SEIV est en cours depuis le mois d'août<sup>80</sup>.

### b / Acquisition de données :

A la suite des différents appels d'offres lancés fin 1978, il apparaît que la proposition MODCOMP est la plus avantageuse sur tous les plans. Elle répond totalement au cahier des charges et ceci a été contrôlé par des essais sur ordinateur. Tous les périphériques hardware et software sont au catalogue et les coupleurs CAMAC sont réalisés. D'autre part, il existe chez MODCOMP des projets de modèles 32 bits compatibles avec le 16

---

<sup>77</sup> *Bulletin d'information GANIL*, n°6, avril 1979, p.2 et annexe 25, photographies des premiers secteurs

<sup>78</sup> PV du Comité scientifique du GANIL du 18 septembre 1979, Documentation GANIL

<sup>79</sup> Annexe 26, schéma de la chambre à vide

<sup>80</sup> Annexe 27, vue perspective du résonateur des CSS

bits permettant des perspectives d'avenir très intéressantes pour l'ordinateur de traitement et de calcul. Le Comité adopte donc le texte suivant<sup>81</sup> :

*« la proposition MODCOMP répond au cahier des charges établi par le groupe Informatique à la suite d'une large consultation et d'un travail de deux ans. Tous les périphériques demandés sont au catalogue MODCOMP. Les essais effectués pour les temps des instructions ont confirmé les performances annoncées. Les délais de livraison sont courts et les premiers ordinateurs pourraient être livrés avant la fin 1979, permettant ainsi aux différents laboratoires intéressés de jouer la compatibilité avec les ordinateurs de GANIL sans perdre de temps. Aucun autre fournisseur n'a été en mesure de présenter pour un prix comparable, les mêmes spécifications, les mêmes délais et les mêmes perspectives d'avenir. Le choix de MODCOMP est donc fortement appuyé par le Comité scientifique de GANIL. »*

Le 15 mars 1979, le comité de Direction suit les recommandations du comité scientifique, sous réserve d'une ultime tentative de la Mission Interministérielle pour l'Informatique de mettre sur pied une solution française. Mais ce projet ne se réalisera pas, et la société MODCOMP remporte le marché. La commande est ainsi passée en juillet 1979, et la réception des ordinateurs doit se faire en 1980, 1981 et 1982.

### c / Spectrométrie et dispositifs expérimentaux :

Lors de la réunion du 23 avril 1979, le Comité scientifique prend la décision de créer des groupes de travail chargés d'une mission précise et limitée dans le temps concernant les besoins futurs du laboratoire en équipements de physique, en développement des détecteurs, concernant également le fonctionnement du laboratoire, l'aide de techniciens sur place, l'hébergement des physiciens. Ces questions sont maintenant abordées très sérieusement, la construction ne devant plus prendre de retard notable. Le premier groupe, Liaison machine, est divisé en deux sous-groupes. L'un examinera les lignes de transfert pour lesquelles des appels d'offres ont été lancés ; l'autre examinera pour sa part les plans d'exécution des aires expérimentales. Le deuxième groupe, Equipements expérimentaux, devra dresser la liste des équipements, estimer le coût d'ensemble et obtenir les crédits correspondants. Ce groupe prépare alors l'envoi d'un texte au nom du Comité scientifique et de la Direction du GANIL. Une grande enquête est ainsi lancée au cours du mois de mai 1979 auprès des chercheurs en physique nucléaire<sup>82</sup>. Elle leur demande leurs préférences quant aux dispositifs expérimentaux à installer et leur pose la question du fonctionnement du futur laboratoire. 44 réponses ont été faites par 205 chercheurs, ce qui montre bien l'intérêt que suscite le GANIL dans la communauté

---

<sup>81</sup> PV du Comité scientifique du GANIL du 30 janvier 1979, Documentation GANIL

<sup>82</sup> Annexe 28, questionnaire relatif au fonctionnement du GANIL

scientifique. Les mêmes thèmes sont très souvent repris. Ils concernent la détection des rayonnements  $\gamma$  et électrons de conversion, l'utilisation d'un spectromètre du type SPEG, la détection, l'identification et la mesure de multiplicité de particules et fragments de réaction et la collection et l'identification de noyaux en ligne. Les conclusions sont alors les suivantes : des groupes de travail devront être constitués sur 5 sujets, à savoir spectrométrie  $\gamma$ , SPEG, chambre à réaction et temps de vol, collection en ligne, collection hors ligne, et une lettre sera envoyée aux directeurs de laboratoires pour leur demander les noms des participants aux groupes définis. La réponse est attendue pour le 25 juin 1979. Après la deuxième consultation, 10 laboratoires concernés ont répondu à l'appel et 64 personnes sont prêtes à collaborer à ces réalisations

Toujours sur ce thème, la question du SPEG reste d'actualité tout au long de l'année 1979. Le 8 juin 1979, le Comité scientifique adopte la proposition suivante<sup>83</sup>:

*« Le SPEG est un projet intéressant dont la faisabilité est établie. Il est important qu'en 1980 des investissements soient faits pour les équipements de physique. Trois lignes de crédits doivent commencer à être approvisionnées : le SPEG, l'acquisition de données et les équipements moins lourds. Un schéma pourrait être de 2 millions de francs pour SPEG, 1 million pour l'acquisition, 1 million pour le reste. Cette méthode devrait être poursuivie en 1981 et 1982. Un budget global de 50 millions de francs en 5 ans devrait être distribué par les autorisations de programme. Cette proposition est adoptée sans objection. »*

Finalement, la décision est prise par le Comité de Direction de confier la réalisation du SPEG au DPhN/BE de Saclay. Le SPEG sera donc le détecteur réalisé par le CEA. Les prestations de ce service sont la préparation des dossiers d'appel d'offres sur les éléments magnétiques, les alimentations, la mécanique, le vide et le refroidissement, le dépouillement des résultats des appels d'offres, le contrôle de la fabrication, la réception des matériels ; ensuite, le montage, les raccordements, les tests de vide et les essais avec faisceau. Le planning proposé envisage une durée totale de 28 mois pour la réalisation du spectromètre et une durée globale de 36 mois pour la fin de l'installation. Cet accord est très proche de celui passé avec le CRN de Strasbourg pour la réalisation du spectromètre en alpha. Toutes ces questions sont traitées lors des journées GANIL qui se déroulent les 19, 20 et 21 novembre à Caen. Ces journées, peut-être les plus importantes puisqu'elles vont définir les dispositifs expérimentaux principaux, seront les dernières organisées pendant la phase de construction. Elles seront remplacées dans les années 1980 par le colloque annuel de Giens sur lequel nous reviendrons.

---

<sup>83</sup> PV du Comité scientifique du GANIL du 8 juin 1979, Documentation GANIL

## d / Les troisièmes journées GANIL <sup>84</sup>.

Après une mise au point succincte sur l'état d'avancement du GANIL sur lequel nous ne reviendrons pas, M. Van den Bosche revient sur le problème de l'installation nucléaire de base GANIL. En effet, dans le domaine des accélérateurs, est INB tout accélérateur susceptible de communiquer aux particules une énergie supérieure à 300 MeV. Le GANIL est donc INB en raison des énergies cinétiques totales atteintes. La création et la mise en exploitation de l'INB sont ainsi soumises à décrets : un décret de création de l'installation après une enquête locale, une étude du « dossier de présentation préliminaire de l'INB GANIL », et une étude du dossier d'impact sur l'environnement, ces deux études étant soumises à l'avis d'une commission d'experts ; puis un décret d'autorisation de mise en exploitation après une étude du « dossier de présentation provisoire de l'INB » et avis favorable du même groupe d'experts. Dans ce dossier sont présentés et critiqués les systèmes de contrôle et de sécurité ainsi que l'analyse de certains incidents possibles. Le rapport d'impact a été présenté le 28 mars 1979, et le décret du 29 décembre 1980 publié au journal officiel le 13 janvier 1981 donne au GANIL son accréditation INB.

L'état d'avancement et les prévisions concernant le spectromètre en alpha sont également évoqués. Les principales étapes successives en 1979 ont été les études de définition et de fabrication du spectromètre entre mars 1978 et janvier 1979, le lancement des appels d'offres pour les gros composants en février 1979 et la passation des marchés après approbation du Comité de Direction GANIL et de la Commission des marchés entre juillet et octobre 1979. Selon le planning présenté, les essais du spectromètre devraient pouvoir se dérouler début 1982.

Différentes discussions ont également lieu au sujet de la physique étudiée lors de la mise en exploitation du GANIL. Les thèmes de diffusion élastique et inélastique, de réactions directes de surface, de fusion entre noyaux lourds, de l'évolution des réactions très inélastiques à haute énergie et de l'information  $\gamma$  en physique des ions lourds sont abordés au cours d'une table ronde sur la physique entre 10 et 100 MeV par nucléons. Les dispositifs expérimentaux sont eux aussi traités. Le SPEG est présenté sous toutes ses coutures : on analyse ses systèmes de détection et ses performances. On évoque également l'utilité d'une chambre à réaction et d'une plate forme de temps de vol, ainsi que d'un dispositif permettant la collection de noyaux en ligne.

Les journées se concluent par la mise en lumière de l'enquête organisé par le GANIL auprès des physiciens désireux de travailler dans ce laboratoire. Il émane de cette enquête que 67 % des physiciens souhaitent que GANIL soit un laboratoire d'accueil, mais 86 % pensent que la présence pour une longue durée de physiciens sur le site

---

<sup>84</sup> *Troisièmes journées GANIL, 19,20 et 21 novembre 1979, GANIL, 319 pages, Documentation GANIL*

GANIL prenant en charge certains intérêts collectifs est indispensable. Le rôle de ces physiciens serait d'assurer une vie scientifique au GANIL, être experts d'un type d'appareillage, accueillir et aider les équipes visiteuses, assurer une coordination entre utilisateurs et le personnel machine, susciter des développements de la machine et collaborer à ceux-ci, et faire leurs propres recherches. La durée de leur séjour reste encore floue : on parle alors de 5 ans pour des détachés, et de 10 ans pour des physiciens résidents. Les modalités seront précisées plus tard. De plus, une majorité des physiciens interrogés souhaite qu'il existe sur place une assistance technique dans les domaines de la maintenance et du dépannage. Ces dernières journées GANIL ont été une fois de plus le cadre à un fourmillement d'idées qui suscite beaucoup d'effervescence dans tout le monde scientifique proche du GANIL, car ces questions très précises annoncent une bonne nouvelle : le fonctionnement de l'accélérateur et du laboratoire est proche !

### e / Les problèmes de budget :

La dotation pour l'année 1979 s'élève à 79 millions de francs, ce qui ne permet pas de rattraper le retard pris dans le plan de financement en 1978<sup>85</sup>. Le principal problème est celui du bâtiment des aires expérimentales. En effet, pour toutes les autres dépenses, le Secrétariat général du GANIL, au prix d'une gestion très lourde, a mis en place un système de postes pour les dépenses, ce qui permet d'engager des sommes sur une plus longue échéance, mais ce qui peut également augmenter le coût global, le GANIL ne bénéficiant pas alors de réductions sur les grosses commandes. Par exemple, pour les différents dipôles et quadrupôles, au lieu de passer une commande globale de x éléments, on doit établir différents postes sur plusieurs années. Malgré tout, pour ce qui est des aires d'expériences, il manque 10 millions de francs, et la construction de ce bâtiment ne peut être repoussée indéfiniment dans le temps. A partir du mois de mars, le Président et le Vice-Président du Comité de Direction GANIL ont eu des entrevues au niveau de la ville de Caen et de la région. Des négociations débutent alors afin d'obtenir une aide qui permettrait de reprendre les travaux de génie civil et d'infrastructure pour les aires expérimentales. L'avant-projet détaillé est prêt depuis le début d'année et la société d'ingénierie détient les plans d'exécution de façon à démarrer les travaux dès qu'un engagement financier sera assuré. Au mois de mai 1979, le Conseil général, le Conseil Régional et la mairie de Caen accordent une rallonge de 5 millions de francs à la dotation initiale de 21 millions. Les efforts de la direction du GANIL ont payé. Malgré la volonté des trois conseils de considérer cette dotation comme une sorte de prêt à l'Etat, remboursable bien évidemment, cette somme représente tout de même une véritable bouffée d'oxygène, car les travaux de terrassement vont pouvoir commencer. C'est une réalité en juillet 1979. Parallèlement à cette bonne nouvelle, la construction

---

<sup>85</sup> Rapport d'activité 1979 du G.I.E. GANIL, Documentation GANIL

des autres bâtiments se poursuit<sup>86</sup>. La salle de commande et ses annexes, d'une superficie de 600 m<sup>2</sup>, sont finies depuis juillet 1979 et leur aménagement se poursuit sur tout le reste de l'année : il s'agit en effet du centre névralgique de l'installation et son aménagement intérieur qui comprend toutes les liaisons électroniques, les postes de contrôle et la salle principale de commande prend beaucoup de temps. Au mois de septembre, la salle principale accueille les ordinateurs MITRA 125 qui se trouvaient dans le bâtiment des ingénieurs afin de procéder aux premières mesures magnétiques et aux essais sur le cyclotron injecteur. Quant au bâtiment énergie, l'infrastructure est en place depuis avril 1979, et son aménagement se poursuit par l'installation des alimentations, de la sous-station 20Kv et de la salle de refroidissement, et se termine en mars 1980 par l'installation des deux tours de ventilation. Dernier point : le personnel GANIL s'est accru de 18 personnes et passe ainsi de 162 à 180. Ce nombre est à peu près identique aux besoins pressentis et le manque de personnel n'est plus à l'ordre du jour.

### 7 / 1980 : les cyclotrons s'habillent et le bâtiment des aires émerge :

Tout d'abord une petite pensée réconfortante pour le personnel du GANIL : depuis le mois de mars 1980, le restaurant est construit et son utilisation quotidienne calme bien des estomacs ! Mais revenons à des préoccupations plus spirituelles. Le budget de 1980 s'élève à 79 millions de francs, ce qui est conforme aux prévisions mais qui ne permet pas de rattraper l'étalement budgétaire des années 1978 et 1979<sup>87</sup>. Malgré tout, les travaux avancent rapidement au rythme des livraisons et des campagnes de tests et de mesures.

#### a / L'ensemble accélérateur :

Tout au long de l'année, la construction de l'injecteur Co1 a progressé au niveau du banc de source et de l'amplificateur HF<sup>88</sup>. Le banc de source a été installé et testé, et la source a été allumée durant le mois de septembre. Le système permettant la sortie du bloc source hors de l'enceinte du Co fonctionne. Il faut ainsi 4 minutes pour achever la sortie mécanique. Pour ce qui est de l'amplificateur HF, les tests sont terminés. Une puissance de 95 kW proche de la valeur nominale de 100 kW a été atteinte. Malheureusement, le niveau des parasites engendrés est supérieur à la spécification requise et les mesures à prendre pour respecter les exigences ont été notifiées au constructeur. On attend donc en cette fin 1980, pour que le Co subisse les premiers essais, l'arrivée puis la mise en place de la cavité résonante qui aura lieu au premier

---

<sup>86</sup> Annexes 29 et 30, plan des bâtiments et photographie de la construction

<sup>87</sup> Rapport d'activité 1980 du G.I.E. GANIL, Documentation GANIL

<sup>88</sup> *Bulletin d'information GANIL*, n°7, mars 1980, p.5

trimestre 1981. Côté banc d'essai de source d'ions PIG, des recherches sont effectuées avec succès pour augmenter la charge des ions produits.

L'événement marquant de cette année 1980 est l'arrivée de la chambre à vide de CSS1 au GANIL le 19 septembre<sup>89</sup>. Cette chambre construite par Neyrpic à Grenoble, selon les plans des ingénieurs mécaniciens du GANIL, est un ensemble de 9,60 m de diamètre, de 4,30 m de haut dans les vallées des cavités résonantes, correspondant à un volume de 46 m<sup>3</sup>, une surface de 900 m<sup>2</sup> et un poids de 57 tonnes. Il a fallu interrompre le trafic entre le port de Caen et le GANIL pour faire passer un convoi très exceptionnel dans les principales artères de la ville. Une fois arrivée à bon port, elle a été nettoyée dans une enceinte spéciale pendant près de deux mois, puis placée sur les culasses inférieures des secteurs au cours de la première semaine de décembre. Les blocs polaires, après nettoyage des pôles, bobines et nappes polaires de correction, sont alors mis en place dans la chambre. Les soufflets d'appui chambre-aimants soudés sur les membranes inférieures ont été testés, ainsi que toutes les soudures bride-membrane. L'habillage définitif de CSS1 a donc commencé autour de Noël 1980. Les huit pompes cryogéniques de la société Physimeca sont aussi au GANIL et fonctionnent parfaitement bien. En ce qui concerne CSS2, les 4 secteurs magnétiques sont au GANIL depuis mai 1980 et montés depuis juin, et les mesures magnétiques s'achèvent à la fin de l'année<sup>90</sup>. L'arrivée de la deuxième chambre à vide est prévue à la mi-février 1981. Concernant les résonateurs, la construction se poursuit chez SEIV et les premiers essais dans une enceinte à part construite spécialement devraient commencer premier trimestre 1981.

On a également commencé la mise en place des lignes de transfert. La ligne L1 entre le Co et l'entrée du CSS1, qui est constituée de 6 dipôles et 20 quadripôles pour les éléments magnétiques, d'un tuyau de 80 mm de diamètre et de chambres à vide successives contenant des appareils à diagnostic de faisceau, est en cours de construction fin 1980<sup>91</sup>.

Enfin, le système de commandes, contrôles et informatique est en partie opérationnel. Le système logiciel est totalement conçu. On teste sa fiabilité avec des valeurs simulées. Un troisième MITRA 125 a été acquis en cours d'année, et il est destiné au SPR. Pendant une grande partie de 1981, il sera utilisé pour conduire l'injecteur Co, puisque les deux autres ordinateurs serviront à la préparation des programmes « GANICIEL » et aux programmes de mesure magnétiques, et aux essais HF.

## b / les aires expérimentales :

---

<sup>89</sup> Annexe 31, photographies de l'arrivée de la chambre à vide

<sup>90</sup> Annexe 32, photographie des 4 secteurs de CSS1 montés

<sup>91</sup> Annexe 33, plan de la ligne L1

La construction du bâtiment des aires expérimentales se prolonge jusqu'en décembre 1980. Un pont roulant de 50 m de long et de 30 tonnes est en place depuis octobre. L'aménagement intérieur est prévu pour 1981. La Direction a procédé au mois de novembre à la commande des blocs de protection et des poutres de plafond, aussi bien pour la machine que pour les aires. Cependant, les délais de fabrication s'étalent sur plusieurs années. Le bâtiment des aires étant debout et en cours d'aménagement, on réfléchit très attentivement à la disposition des salles d'expériences. Différents schémas émanent du groupe des aires expérimentales. Globalement, dans ce bâtiment, le transport de faisceau se fait selon une maille de 14 mètres ou même une demi-maille de 7 mètres. A chaque maille, un aimant pulsé permet de dévier le faisceau de 30°, puis après un deuxième dipôle de 30°, le faisceau entre dans la salle sous un angle de 60°. L'utilisation est donc possible d'un régime partageant le temps entre deux postes expérimentaux selon que l'aimant pulsé est alimenté ou non en courant. Le travail sur les équipements de physique a beaucoup progressé tout au long de l'année. Outre le SPEG placé dans la salle G3, quatre installations ont été définies et confiées à des laboratoires. Il s'agit de la plateforme de temps de vol pour l'IPN d'Orsay, de la grande chambre « Nautilus » du LPC de Caen et du CRN de Strasbourg, de la chambre particules gamma « Cyrano » du CEN Bordeaux et du DPhN/Be Saclay, et d'un ensemble modulaire sélecteur de Spin pour le CSNSM d'Orsay. Pour le SPEG, l'analyseur a été commandé en décembre 1980. Le spectromètre lui-même a été redéfini. La nouvelle version présentée au Comité scientifique du 2 décembre 1980 comprend deux aimants séparés au lieu d'un seul. La chambre à cibles suivie de l'enceinte à vide n'est pas encore définie. Au cours de l'année 1981, 7,6 millions de francs seront consacrés aux commandes de SPEG. Intéressons-nous maintenant aux quatre installations citées plus haut :

↳ **La chambre d'un mètre avec plateforme de temps de vol, placée en D1**<sup>92</sup>:

les études faites à Orsay sont finies fin 1980 et on peut préciser les caractéristiques de la chambre. La hauteur de la chambre est de 70 cm. Les plateaux tournants prennent, par paire, une épaisseur de 5 cm, ce qui conduit à une hauteur libre entre plateaux de 60 cm. La chambre sera équipée de deux fenêtres coulissantes identiques. Sur l'ouverture restante deux fenêtres fixes peuvent être placées selon les désirs, ce qui rend possible de nombreuses configurations angulaires. Au cours de l'année 1981, 1,4 millions de francs seront consacrés à cet ensemble.

↳ **Nautilus, dans la salle G1**<sup>93</sup> : Le projet de grande chambre cylindrique de 3,50 m de diamètre munie de deux pivots porte-cible avance à grands pas.

---

<sup>92</sup> Annexe 34, maquette de la chambre temps de vol

<sup>93</sup> Annexe 35, photographies de Nautilus

L'axe porte-cible pourra être descendu au fond d'un puits pratiqué dans le pivot, de façon à protéger les cibles pendant le pompage. Le système permet la manipulation de cibles oxydables. Les porte-cibles pouvant contenir sept cibles seront positionnés en début d'expérience et ne pourront être retirés qu'après l'ouverture de l'enceinte. L'organisation du système de contrôles et commandes de Nautilus utilisera des automates programmables en service au GANIL. L'engagement pour ce projet représente 1,4 millions en 1981.

↳ **La chambre Cyrano, située en D2**<sup>94</sup>: cette chambre de deux mètres de diamètre comporte un couvercle bombé à l'intérieur duquel deux anneaux permettent de placer des détecteurs pour des mesures azimutales hors plan de réaction sur un cercle autour de la cible de 90 cm de rayon. Un système de trois plateaux concentriques totalement indépendants permet l'installation de nombreux détecteurs dans le plan de réaction. Un sas à cible est prévu en position centrale. Une somme de 1,4 millions de francs est disponible pour la fin des études et le début de la réalisation en 1981.

↳ **Le détecteur Somme ou sélecteur de Spin, dans la salle G2** : c'est un ensemble de 14 détecteurs, de section hexagonale, couplés à des photomultiplicateurs de 7,5 cm de diamètre. La longueur est de 20 cm et la section hexagonale est inscrite dans un cercle de 15 cm de diamètre. Cet ensemble peut être utilisé, soit comme détecteur individuel de gros volume, soit comme anneau pouvant constituer diverses géométries pour mesures en coïncidence avec d'autres détecteurs, soit comme spectromètre Somme, en accolant les modules hexagonaux. La décision de construction a été prise le 8 décembre 1980 et une somme de 700 000 francs a été allouée à la réalisation.

Le GANIL a bien changé en décembre 1980<sup>95</sup>. Désormais, les bâtiments principaux sont terminés et le laboratoire possède déjà une partie de son allure définitive. Place maintenant aux aménagements intérieurs et à l'assemblage des différents constituants de l'ensemble accélérateur.

## 8 / 1981 : les travaux se poursuivent :

### a / Un accélérateur à l'allure d'accélérateur :

---

<sup>94</sup> Annexe 36, Coupe de la chambre Cyrano

<sup>95</sup> Annexe 37, photographie aérienne du laboratoire

Le budget de 1981 qui s'élève à 77 millions de francs ne retarde en rien les travaux, et le manque de personnel n'est plus au goût du jour<sup>96</sup>. Le premier cyclotron injecteur Co du GANIL fonctionne depuis le 30 avril 1981. Les conditions d'essais du premier faisceau étaient celles d'ions  $^{12}\text{C}^{2+}$ , avec une tension sur le dee de 37,6 kV à une fréquence de 10 MHz. Tout au long de l'année, de nombreux essais ont été faits sur des faisceaux d'ions accélérés dans le cyclotron injecteur. Au mois d'août, l'extraction a été réalisée et le faisceau conduit le long de la ligne L1 jusqu'à la sortie du premier dipôle fonctionnant en spectromètre. Les premières mesures d'émission et de résolution en énergie ont ainsi été réalisées, ce qui a permis de perfectionner la sortie du faisceau et de réaligner la ligne L1. Dernier point important : le regroupement R1 est livré au mois de juillet 1981. Après la phase d'essais, il est opérationnel vers la fin de l'année. La ligne L1 est donc achevée.

La deuxième chambre à vide est arrivée au GANIL le 12 février 1981. Nettoyée à la manière de celle de CSS1, elle est en place à partir du mois de juillet, et la première mise sous vide a lieu le 10 juillet. Quant aux tests sur la chambre de CSS1, ils répondent parfaitement aux exigences demandées au constructeur. La dernière campagne de mesures magnétiques sur CSS1 muni de ses éléments d'injection et d'éjection s'est terminée au début de décembre 1981. Les bases de données permettant les réglages en exploitation ont ainsi été acquises. Le montage définitif de CSS1 a donc débuté fin décembre, avec tous les éléments d'injection et d'éjection, les sondes de diagnostic, les deux cavités résonantes. En effet, en décembre 1981, trois des quatre cavités résonantes sont recettés au GANIL. La première reçue a servi de prototype, et divers essais de fonctionnement ont eu lieu au cours du dernier trimestre 1981, dans une enceinte spéciale. Et les résultats de ces essais sont véritablement satisfaisants, car la tension pulsée de 265 kV a été atteinte assez facilement, et une tension continue de 200 kV a été obtenue.

Pour ce qui est des protections biologiques, la mise en place des blocs de béton est presque achevée à la fin de l'année dans le bâtiment machine, sauf la séparation entre les deux CSS qui interviendra le plus tard possible pour ne pas gêner le travail de montage. Les blocs pour l'arrêt de poisson sont fabriqués et leur installation débute en janvier 1982. Enfin, les différents éléments magnétiques des lignes de faisceau arrivent petit à petit au GANIL et les mesures magnétiques se poursuivent donc. Quant au matériel de pompage, il est présent dans son ensemble au laboratoire fin 1981. Les tests sur celui-ci sont tout à fait concluants, ce qui laisse présager une belle réussite dans ce domaine technique.

## b / Mise en place des salles d'expériences :

---

<sup>96</sup> Rapport d'activité 1981 du G.I.E. GANIL, Documentation GANIL

Le Comité scientifique a beaucoup hésité quant au choix du plan général du bâtiment des aires d'expériences entre le plan H et le plan H'<sup>97</sup>. Finalement, il décide de garder le plan H établi en décembre 1980. Nous ne reviendrons pas sur les principaux équipements expérimentaux dont nous avons parlé plus haut et qui sont dans leur phase de réalisation, mais nous reparlerons brièvement de l'organisation générale des salles. En D1, se situe donc l'installation temps de vol ; en D2 c'est la chambre Cyrano qui trouve sa place ; en G1 se situe la grande chambre cylindrique Nautilus ; la salle G2 comporte deux lignes de faisceau et elle est réservée au sélecteur de Spin ou Détecteur Somme et à une plateforme de détecteurs ; le SPEG se présente dans la vaste salle G3<sup>98</sup>. Il nous reste donc à voir les équipements placés dans les salles D3, D4, D5, D6 et G4.

Les salles D5 et D6 seront réservées à la collection en ligne et hors ligne de noyaux. La politique du GANIL a été de préparer l'aménagement d'une salle d'irradiation et d'un espace contigu pour recueillir à distance du faisceau les produits de réaction transportés. L'implantation est ainsi prévue pour trois types de collections : tout d'abord, un spectromètre de masse, construit par le laboratoire René Bernas du CSNSM qui a déjà acquis des résultats en ligne auprès du CERN, de l'accélérateur Alice à Orsay et du cyclotron de Dubna ; ensuite, un système de transport à jet d'hélium, fonctionnant déjà à l'IPN d'Orsay, qui permet avec son spectromètre de temps de vol et son dérouleur de bande la collection rapide de tous les noyaux projetés hors d'une cible dans une atmosphère d'hélium, la mesure des masses et l'étude des schémas de désintégration ; enfin, une petite chambre d'irradiation pour recueillir les noyaux émis par une cible ou un empilement de cibles sur des feuilles minces disposées à divers angles de recul. Après irradiation, les feuilles sont transportées et la radioactivité est mesurée hors ligne, dans le laboratoire de détection mis en place sur le site du GANIL avec l'aide du Service de Radioprotection. Cet ensemble est issu de la collaboration du CEN Grenoble, du DPhN/MF de Saclay et de l'IPN d'Orsay.

Nous en venons maintenant à un aspect tout à fait intéressant : l'équipement qui sera placé dans les salles D3 et D4. Depuis l'origine du projet, les physiciens atomistes et les physiciens de la matière condensée se sont intéressés aux possibilités ouvertes dans leurs domaines par l'utilisation des faisceaux GANIL. Il apparaît donc que ces physiciens souhaitent également utiliser les faisceaux GANIL pour leurs expériences. Après une série de discussion, le Comité de Direction décide courant 1981 de consacrer 10 % du temps de faisceau à la physique non nucléaire, accepte la construction d'un petit bâtiment léger situé dans l'enceinte INB près du poste de commande et financé par la région, bâtiment qui sera le laboratoire CIRIL, le Centre Interdisciplinaire de Recherche Ions lourds dédié à la physique atomique et de la matière condensée, et encourage l'installation d'un faisceau super épluché intéressant la physique atomique dans les salles D3 et D4. La grande idée au sujet de la future LISE, Ligne d'Ions Super

---

<sup>97</sup> Annexes 38 et 39, plans H et H'

<sup>98</sup> Annexe 40, plan général et maquette du SPEG

Epluchés, sera de concevoir un équipement satisfaisant tant à la physique nucléaire qu'à la physique atomique. Ce projet, présenté le 4 juin 1981 au Conseil scientifique du GANIL, représente un investissement de 7 millions de francs pour la physique atomique qui se répartit entre la région, à hauteur de 50 %, le CEA et le CNRS respectivement à concurrence de 25 %. Techniquement, il s'agit de profiter des vitesses élevées des ions accélérés pour les déshabiller de la plupart de leurs électrons et de conduire ensuite les ions de rapport charge sur masse choisis en un faisceau de très bonne qualité. Le système comporte donc un éplucheur, un ensemble de deux dipôles de 45° et de quadrupôles permettant un transport achromatique vers la salle d'expérience isolée le mieux possible de la zone de l'éplucheur<sup>99</sup>. En décembre 1981, l'étude mécanique de l'éplucheur et l'étude d'optique magnétique ont été faites, et les quadrupôles et les alimentations ont été commandés. Cette ligne, dont le père est M. Rémy Anne, ingénieur au GANIL, rentrera en service au cours de l'année 1984 et produira des résultats exceptionnels sur le thème des noyaux exotiques. Nous aurons l'occasion d'y revenir. Revenons enfin sur une dernière information : la réalisation du système d'acquisition de données est en bonne voie ; l'écriture des logiciels est en cours et deux bâtiments d'acquisition ont été construits et sont en cours d'aménagement à la fin 1981. Le projet GANIL est alors proche de son aboutissement.

L'année est enfin marquée par deux événements importants. Tout d'abord, du 7 au 10 septembre se tient à Caen la 9<sup>ème</sup> conférence internationale sur les cyclotrons et leurs applications<sup>100</sup>. Ce colloque qui réunit 300 physiciens de 23 pays différents se tient tous les trois ans alternativement en Europe et aux Etats-Unis, pays de l'inventeur de ce dispositif, E. O. Lawrence. La tenue de cette importante réunion à Caen alors que le GANIL est en cours de réalisation constitue une véritable reconnaissance internationale de cette entreprise française et de la recherche française dans le domaine de la physique nucléaire des ions lourds. Deuxième excellente nouvelle : en décembre 1981, le Ministre de la Recherche Jean-Pierre Chevènement, annonce que l'un des quatre cyclotrons médicaux dont le financement est acquis sera implanté à Caen<sup>101</sup>. Il s'agit d'un centre de recherche médicale dont le dossier a été préparé par l'équipe de neurochirurgie du CHU de Caen. Ce centre, à partir de l'injection dans le cerveau ou dans d'autres organes de substances émettant un rayonnement de courte durée, permet de suivre par l'intermédiaire d'une caméra à positons l'effet des médicaments et de diagnostiquer la nature et l'importance d'anomalies cérébrales par exemple. Son financement qui représente entre 35 et 40 millions de francs, doit être assuré à parts égales par la région, le département, la ville de Caen et par l'Etat. Ce nouveau laboratoire doit prendre place à côté du GANIL, sur une partie des 37 hectares du site. Il est difficile d'évaluer l'importance du GANIL dans le choix de la ville de Caen pour

---

<sup>99</sup> Annexe 41, plan de la ligne LISE

<sup>100</sup> In *Ouest-France*, 4 septembre 1981

<sup>101</sup> In *Ouest-France*, 20 décembre 1981

accueillir ce cyclotron médical, mais il est sûr que l'expérience acquise et la technologie développées au GANIL ont probablement fait pencher la balance en faveur de la région bas-normande. C'est véritablement la première preuve de la force d'attraction de ce laboratoire sur différentes formes de recherche.

## 9 / 1982 : la dernière ligne droite :

### a / La mise en service de l'ensemble accélérateur :

Cette année 1982 est tout d'abord marqué par le départ de Marc Lefort et M. Signarbieux comme Directeur et Directeur Adjoint du GANIL et leur remplacement par Claude Détraz et René Joly. Claude Détraz, qui assurera deux mandats de directeur est une personnalité essentielle de l'histoire du GANIL. Né le 20 mars 1938 à Albi, cet ancien de la rue d'Ulm entre ainsi à l'Ecole Normale Supérieure en 1958, après un baccalauréat mathématiques en 1955 et une classe de mathématiques supérieures et mathématiques spéciales au lycée Saint-Louis à Paris. Il obtient une licence ès Science à la session d'octobre 1959 et entre au mois d'octobre 1960 au laboratoire Joliot-curie de physique nucléaire à Orsay. Il obtient en 1962 son diplôme d'Etudes Supérieures ; il devient alors attaché de recherches au CNRS. Il soutient au mois de septembre 1964 une thèse de doctorat d'Etat sur « l'étude de la structure des noyaux légers à couches ou sous-couches fermées par la réaction de pick-up à 155 MeV ». Pendant l'année scolaire 1964-1965, il séjourne au laboratoire Lawrence de Berkeley où il travaille, sur le cyclotron de 88 pouces tout récent, à des recherches de pick-up produites par des protons de 30 à 45 MeV. A son retour, il participe activement au CERN à des expériences sur la recherche de noyaux à grand excès de neutrons grâce à une spectrométrie de masse. Il est considéré comme un expérimentateur de grande qualité. En 1968, il effectue un stage au Max-Planck Institut für Kernphysik, à Heidelberg, et nous le retrouvons en 1970 et 1971 au laboratoire de physique nucléaire de l'Université de Colorado, où il travaille sur l'étude de l'existence et de la décomposition radioactive des isotopes déficients en neutrons, et sur l'examen des mécanismes des réactions nucléaires où plusieurs nucléons sont transférés et leur utilisation dans l'étude de la structure nucléaire. Nous le retrouvons par la suite à Orsay où il contribue à l'installation finale de l'accélérateur Tandem Empereur. Il participe ensuite à la genèse du projet GANIL : il fait partie du premier groupe de travail qui présente le cahier des charges de la physique nucléaire des années 80 et la proposition des deux cyclotrons en cascade, rapport que nous appelons premier « livre bleu ». Il suit par la suite attentivement le projet par le biais du comité scientifique et s'intéresse tout particulièrement au projet LISE et aux travaux de Rémy Anne sur le sujet. Il est en quelque sorte à l'origine de ce grand projet qui fera la réputation du GANIL. Il remplace

donc Marc Lefort le 1<sup>er</sup> juillet 1982 et il est nommé pour 5 ans d'exploitation du GANIL<sup>102</sup>. C'est le moment de saluer cet homme qui a tant donné au GANIL et qui s'en va de la direction avant la première expérience. Cet homme qui a réalisé des travaux précurseurs sur les ions lourds à Orsay sur l'accélérateur Alice a mené de main de maître le projet, assisté d'un chef de projet aux qualités exceptionnelles, Marcel Gouttefangeas. Ils ont su fédérer l'ensemble d'une communauté autour d'un projet exceptionnel et très ambitieux. Ils sont passés outre les querelles existantes entre l'IN2P3 et le CEA sur les différences de statuts, et l'ensemble du personnel a suivi cette sage décision. La passion et le dévouement ont uni les hommes autour du triomphe de la science. Marc Lefort quitte avec regret le GANIL mais déclare très noblement<sup>103</sup>:

*« L'essentiel est que subsiste quelque part ce dont on a vécu. »*

Revenons aux accélérateurs. Tout d'abord, le budget consacré au laboratoire pour 1982 est de 63 millions de francs, ce qui pose quelques problèmes pour la construction des salles d'expériences et les commandes des différents constituants des lignes de faisceau<sup>104</sup>. Mais ces contraintes budgétaires n'affectent en rien la réalisation finale de l'ensemble accélérateur. Le vendredi 28 mai, un faisceau d'argon a été conduit à l'entrée de CSS1 définitivement monté. Le mardi 1<sup>er</sup> juin, les éléments d'injection ont été alimentés et le 2 juin le faisceau a été conduit jusqu'à la première orbite. L'autorisation officielle de mise en route d'un faisceau accéléré a été donnée le 2 juin par la Commission de Contrôle des Installations Nucléaires et les premiers essais ont eu lieu à partir du 3 juin. Ces essais ont permis d'aboutir le 9 juin à l'extraction du faisceau de CSS1. Ce faisceau, à la sortie de CSS1, est ensuite conduit dans le premier tronçon de ligne de transfert L2 joignant CSS1 et CSS2 et passe à travers l'éplucheur. Durant l'été 1982, l'ensemble du premier étage du GANIL, Co, CSS1, éplucheur fonctionne de façon régulière pendant que les travaux se poursuivent sur l'installation de CSS2 et sur les aires d'expériences. La commande des éléments du deuxième cyclotron injecteur Co2 est également engagé, équipement identique à Co<sup>105</sup>. Le comité scientifique réfléchi également attentivement à la possibilité d'équiper le Co2 d'un nouveau type de source dit ECR et signifiant Electron Cyclotron Resonance. Cette source d'ions développée depuis 1975 au CEN de Grenoble a pour avantage de fournir des énergies plus élevées pour les ions de masses moyennes et élevées, de fonctionner en continu et d'être d'une grande souplesse de fonctionnement, et surtout d'utiliser de très faibles quantités de matière pour les éléments isotopiquement enrichis et donc coûteux. De plus, le GSI de Darmstadt prévoit d'installer rapidement ce type de source. La

---

<sup>102</sup> PV du Comité scientifique du GANIL du 3 juin 1982, Documentation GANIL

<sup>103</sup> *Bulletin d'informations GANIL*, n°11, juin 1982, p.2, Documentation GANIL

<sup>104</sup> Rapport d'activité 1982 du G.I.E. GANIL, Documentation GANIL

<sup>105</sup> *Bulletin d'informations GANIL*, n°12, juin 1982, p.5

perspective d'un ensemble opérationnel en 1986 paraît très souhaitable<sup>106</sup>. Quant au spectromètre en alpha, la construction et les tests sont terminés au CRN de Strasbourg. Après démontage, il est transporté à Caen fin juin et sa réinstallation se poursuit tout l'été. La tension monte durant tout l'automne : CSS2 est terminé, les résonateurs sont en place, le vide a été testé. Le spectromètre alpha est remonté et il a été testé. Le grand jour approche, et le 19 novembre 1982, le premier faisceau du GANIL est extrait du CSS2. Ce succès, car le faisceau possède déjà de très bonnes qualités d'optique et d'énergie, est à porter au crédit des 200 ingénieurs, techniciens, ouvriers et agents administratifs qui pendant six longues années ont œuvré aux côtés de Marc Lefort. Leurs efforts sont désormais récompensés<sup>107</sup>. Les expériences de physique vont donc commencer dès le début 1983. La première expérience est en effet réalisée le 18 janvier 1983 dans la ferveur et l'excitation que l'on peut aisément imaginer, car désormais, c'est une réalité : le GANIL fonctionne bel et bien.

### b / Les salles d'expériences :

En ce qui concerne l'arête de poisson, la portion desservant les salles D1, D2, G1 et G2 est prête en début janvier 1983. Pour le tronçon en aval de l'arête de poisson, les composants, éléments mécaniques, éléments magnétiques, diagnostic, pompes et protections, sont pratiquement tous livrés en décembre 1982<sup>108</sup>. En ce qui concerne les équipements, le travail se poursuit. L'équipe de l'IPN d'Orsay, qui a construit la chambre temps de vol, a commencé le montage en novembre et l'équipement est opérationnel début janvier 1983. Le LPC de Caen achève l'installation de Nautilus début 1983. Les différents composants sont en place ou en cours de montage. La chambre Cyrano n'étant pas prête avant mai 1983, la salle D2 est réservée au cours du premier trimestre 1983 aux équipes disposant de leur équipement expérimental propre. La salle G2 est réservée à la spectrométrie gamma. La ligne G2 sera équipée de la plateforme gamma réalisée par l'IPN de Lyon dont l'installation est prévue en février 1983. Le GANIL est directement responsable de la construction des salles D3 et D4 qui accueilleront LISE. L'étude de la ligne est achevée et ses différents composants sont commandés fin 1982. Les derniers éléments attendus sont les deux dipôles dont la date contractuelle de livraison se situe en juin 1983, pour un achèvement du montage en octobre 1983 et une mise en service en décembre 1983. La réalisation de SPEG continue sur les bases initiales. Les composants magnétiques ont été définis et commandés, et le dipôle de la ligne d'analyse est en place, les mesures magnétiques commençant ainsi en janvier 1983. Pour la salle D5, le spectromètre de masse et la chambre à collection de noyaux sont prêts et le montage est prévu pour juillet 1983.

---

<sup>106</sup> PV du Comité scientifique du GANIL du 3 juin 1982, Documentation GANIL

<sup>107</sup> Annexe 42, photographies de l'ensemble accélérateur

<sup>108</sup> Annexe 43, photographie de l'arête de poisson en cours de construction

Enfin, un effort tout particulier est fait pour équiper la salle G4 d'une ligne de faisceau banalisée. Cet objectif est difficile à tenir car les contraintes budgétaires retardent la commande des éléments des lignes. L'objectif à tenir est la mise en route de la salle pour le second semestre 1983. Enfin, en ce qui concerne l'acquisition de données, les expérimentateurs doivent trouver dès janvier 1983 les deux bâtiments d'acquisition construits de part et d'autre des aires expérimentales et équipés chacun de deux ordinateurs MODCOMP « Classic 7860 » ainsi que de leur interface permettant l'acquisition des données depuis les codeurs, jusqu'à l'écriture sur support magnétique<sup>109</sup>.

### c / fonctionnement du laboratoire :

Le 17 décembre 1981, le Comité de Direction GANIL a pris plusieurs décisions importantes. Tout d'abord, le Comité d'expérience de physique nucléaire est créé. Il sera composé de douze membres, théoriciens et expérimentateurs, dont le mandat sera de deux ans, avec renouvellement par moitié. Il se réunit trois fois par an environ pour examiner les propositions d'expériences, en principe après une présentation publique. Il recommande aux directeurs celles qu'il leur propose d'accepter et il émet un avis sur le temps de faisceau à leur attribuer. Il émet également un avis sur le déroulement des expériences qui ont été acceptées. Il existe également un Comité d'expériences de physique non nucléaire, qui fonctionne sur le même principe et qui est chargé de distribuer aux équipes de chercheurs les 10 % de temps de faisceau alloués à cette physique. Le Comité scientifique comprendra quant à lui les membres du Comité d'expériences plus douze membres, six du CEA et 6 de l'IN2P3. Le rôle du Comité qui se réunira deux fois par an, présidé par le Directeur du GANIL, est d'examiner l'activité de recherche du laboratoire et la conjoncture scientifique dans la physique des ions lourds, sur le plan national et international, de proposer des orientations scientifiques et les développements souhaitables pour GANIL, de veiller à ce qu'une cohérence soit maintenue entre la politique scientifique du GANIL et celle des différents laboratoires utilisateurs. Le Groupe des physiciens est également constitué. Il est précisé qu'ils assument la responsabilité et la coordination des équipements expérimentaux lourds tout en menant leur propre recherche. Ils sont affectés au GANIL pour 5 ans<sup>110</sup>.

La première réunion du Comité d'expérience de physique nucléaire se déroule les 25 et 26 mai 1982, et la deuxième les 21 et 22 septembre. Durant cette période, soixante-seize propositions d'expériences ont été faites au Comité. Il a donc programmé un certain nombre d'expériences pour les six premiers mois d'exploitation, en essayant de s'assurer un certain nombre de résultats significatifs très rapidement. Les premières expériences seront donc assez simples et effectuées par des équipes confirmées. Cette

---

<sup>109</sup> *Bulletin d'informations GANIL*, n°12, juin 1982, p.7

<sup>110</sup> Règlement de laboratoire, 18 octobre 1983, Documentation GANIL

manœuvre a pour but de faire connaître les spécificités des faisceaux délivrés afin d'intéresser de nombreuses équipes qui pourront alors mettre au point des expériences plus complexes et plus longues. La phase d'exploitation commence véritablement. Dernier point : les physiciens étant eux aussi des hommes, un restaurant et une maison d'hôtes financés par la région sont prêts à accueillir toutes les équipes de chercheurs de France et d'ailleurs.

#### d / L'impact du GANIL sur la région bas-normande :

Premier point à signaler : l'information scientifique a parfaitement été relayée dans la population, puisque les conclusions du rapport d'impact de l'implantation du GANIL sur son environnement montrent que la population caennaise n'est pas du tout hostile à l'implantation de l'accélérateur, et même l'appellation laboratoire de physique nucléaire ne produit pas d'association notable avec l'usine de retraitement de La Hague<sup>111</sup>. Le GANIL est ainsi parfaitement adopté par la population, sauf par quelques militants écologistes qui considèrent le fonctionnement de ce laboratoire comme un gâchis d'énergie, le GANIL étant un client important d'EDF. Pour ce qui est de l'apport financier, 97 millions de francs ont été insufflés dans la région, dont la moitié pour le bâtiment et l'entreprise RUFA qui a remporté tous les marchés de génie civil<sup>112</sup>. De plus soixante et onze emplois directs ont été créés dans la région, ce qui est assez loin du chiffre de deux cent cinquante prononcé par le Ministre d'Ornano en 1975. Mais le GANIL n'a jamais eu la prétention de soutenir l'économie locale. Les réalisations demandaient de grandes compétences technologiques que les entreprises bas-normandes ne possédaient pas. Ce laboratoire peut néanmoins apporter un certain poids scientifique à la région et l'implantation du cyclotron biomédical est peut-être le commencement d'une preuve. Le rôle du laboratoire GANIL est de faire de la physique, pas de la prospection économique. Mais le GANIL durant les vingt années suivantes, aura également un grand pouvoir d'attraction, puisque la zone située entre le CHU et le laboratoire, le plateau nord, deviendra un important pôle scientifique et finira par porter le nom de plateau GANIL.

#### e / L'inauguration du GANIL :

Le jeudi 3 février 1983, Jean-Pierre Chevènement inaugure le GANIL en présence de Michel Pecqueur, Administrateur Général du CEA, de Jean Teillac, Haut-Commissaire à l'Énergie atomique, de Pierre Papon, Directeur général du CNRS, de Claude Fréjacques, Président du CNRS, et de Louis Mexandeau, Ministre des Postes et de la Télédiffusion. Une visite complète est bien entendu organisée, et c'est Claude

---

<sup>111</sup> Rapport d'impact de l'implantation du GANIL sur son environnement, Documentation GANIL

<sup>112</sup> Fabienne Zellner, *Etude d'impact du GANIL sur la Basse-Normandie*, CEBANOR, décembre 1982

Détraz, Directeur du GANIL, qui sert de guide. Les invités à l'inauguration sont impressionnés par l'ensemble accélérateur et par la maîtrise technique que les ingénieurs et les physiciens ont montrée durant les années de conception et de réalisation. Jean-Pierre Chevènement déclare alors<sup>113</sup> :

*« La réalisation du GANIL marque un temps fort du développement de la physique nucléaire. Nous devons continuer nos efforts afin de donner à cette discipline la place qu'elle mérite. »*

Cette fois, on ne parle plus de projet GANIL. Le laboratoire est prêt à fonctionner et les physiciens attendent avec impatience les premiers résultats. Seront-ils déçus ou comblés ?

Il est difficile de résumer les 10 années qui mènent des premières réflexions à l'aboutissement du projet. Dans le domaine des ions lourds, les discussions préliminaires menées dans plusieurs laboratoires furent reprises et approfondies dans le cadre d'un groupe de travail commun IN2P3-IRF, créé en décembre 1972, composé de physiciens et d'ingénieurs et qui proposa, en juillet 1973, les caractéristiques souhaitables pour une machine permettant d'aborder dans les meilleures conditions ce nouveau domaine de la physique nucléaire. Un conseil de physiciens et un groupe d'études techniques effectuèrent en 1974, sous la direction de Marc Lefort et Marcel Gouttefangeas, l'étude détaillée du projet qui fit l'objet d'un rapport final en avril 1975. Dès le début 1974, la crédibilité du GANIL était suffisamment établie pour que son implantation commençât à susciter l'intérêt de plusieurs autorités locales et régionales. Certaines offres de sites, plus particulièrement celles de Bordeaux et de Caen, comportaient la promesse d'aides substantielles. Au milieu de 1975, l'état d'avancement du projet autorisait une prise de décision. Celle-ci intervint dès le mois d'août, plus tôt qu'il n'avait été espéré grâce à l'action du Ministre de l'Industrie et de la Recherche, Michel d'Ornano, qui obtint l'inscription du GANIL dans le plan de soutien à l'économie. La construction put ainsi commencer en 1976 pour aboutir, pratiquement dans les délais prévus, au premier fonctionnement de l'ensemble du système accélérateur en novembre 1982. Il convient ici de rendre hommage aux équipes qui, sous la direction de Marcel Gouttefangeas, ont été chargées des études, de la construction et de la mise en service de l'accélérateur. Il convient d'associer les entreprises qui se sont attachées à cette réalisation dans des conditions techniques parfois difficiles, notamment Alsthom-Atlantique pour les aimants, Neyrpic pour les chambres à vide, SEIV pour les résonateurs et RUFA pour le génie civil. Malgré l'irrégularité des dotations budgétaires, le projet a pu être mené à bien, grâce en partie

---

<sup>113</sup> In *Ouest France*, 4 février 1983

par l'attitude très positive de la région qui a investi plusieurs dizaines de millions de francs dans le projet. En contrepartie, l'implantation du GANIL a Caen a établi un nouveau pôle scientifique dynamique, non limité à la physique nucléaire. La création par le CNRS et le CEA auprès du GANIL du CIRIL, grâce à une aide importante de la région, a constitué un premier pas dans ce sens. Et l'implantation d'un cyclotron biomédical et d'une caméra à positons ne dément pas ce mouvement. La communauté des physiciens nucléaires est ainsi fière de posséder avec le GANIL un outil de choix, lui permettant d'effectuer avec une large variété d'ions des expériences particulièrement prometteuses dans un domaine d'énergie qui ne sera accessible à aucun autre accélérateur pendant 4 à 5 ans. Ce laboratoire qui compte environ 220 personnes et qui aura coûté environ 275 millions de francs, soit 557 millions en franc 1982, somme très proche de celle initialement prévue de 250 millions, représente un investissement très coûteux. Les équipes du GANIL sont conscientes de la nécessité de mettre en place une exploitation technique et scientifique efficace. Ils vont s'atteler à la tâche, et ils vont réussir. C'est ce que nous analyserons maintenant.

# **Chapitre 4**

## **Le temps de l'affirmation**

## ***IV / Les dix premières années du GANIL : le temps de l'affirmation, 1982-1992 :***

Dès le 18 janvier 1983 a lieu la première expérience à l'aide du faisceau du GANIL. L'outil privilégié de l'étude des collisions à grande énergie entre noyaux que constitue le GANIL donne alors très rapidement des fruits précoces et la communauté des chercheurs français se trouve dotée désormais, plusieurs années avant ses concurrents étrangers, d'un instrument de grande qualité. Le laboratoire GANIL ouvre alors le champ que les physiciens avaient considéré, il y a dix ans, comme celui du renouvellement des connaissances sur la matière nucléaire. C'est une nouvelle aventure qui commence. Le laboratoire entre désormais dans sa phase d'exploitation. Il s'ouvre ainsi à l'ensemble de la communauté des chercheurs en physique nucléaire. Mais l'accélérateur et les salles d'expériences ne sont pas uniquement dédiés aux expérimentateurs. Tout au long des 10 premières années de fonctionnement, les physiciens, ingénieurs et techniciens vont travailler à l'amélioration des performances des cyclotrons et des dispositifs expérimentaux. Et ce perfectionnement technologique apportera par la suite de nouvelles découvertes et de nouvelles connaissances. Nous analyserons ces différentes évolutions maintenant.

### A / 1983-1985 : une meilleure connaissance de l'accélérateur :

#### 1 / L'organisation interne du laboratoire :

Nous avons déjà évoqué la situation de la direction et du secrétariat général. Leur situation ne change pas lors de l'entrée dans la phase d'exploitation. Pour ce qui est des activités techniques, elles sont organisées au sein de trois secteurs s'articulant sur les missions essentielles du GANIL<sup>1</sup> :

- ↳ **Le secteur Techniques de la Physique** : ce secteur, qui englobe le groupe des aires expérimentales et le groupe informatique et physique, est chargé de maintenir et de développer les dispositifs expérimentaux, les salles d'expériences, et d'assurer l'acquisition des données. Ce secteur, qui aura tout au long de l'histoire du GANIL une grande importance, est la véritable interface entre le laboratoire et ses utilisateurs.

---

<sup>1</sup> Règlement intérieur du laboratoire GANIL, 18 octobre 1983, Documentation GANIL

- ↳ **Le secteur des accélérateurs ou Exploitation** : c'est un des points névralgiques du laboratoire. En effet, la production du faisceau dépend des différentes équipes de ce groupe constitué de spécialistes en électronique, informatique, haute fréquence, vide, théorie et modélisation. Mais son activité ne s'arrête pas au réglage des quelques 2000 paramètres nécessaires à l'obtention du faisceau : le secteur des accélérateurs doit également réfléchir aux évolutions techniques possibles des cyclotrons et surtout à l'obtention d'une large gamme de faisceau accéléré. Mais nous aurons l'occasion d'y revenir.
  
- ↳ **Le secteur Support Technique** : il fonctionne comme un prestataire de service interne, principalement dans les domaines de la maintenance et du développement des cyclotrons, et pour les aires d'expériences dans le cas d'aménagement ou de modifications dans les salles.

Enfin, il faut citer le dernier secteur du laboratoire, celui qui a demandé le plus de discussions et concertations : le secteur Physique, composé entre autre du groupe des physiciens. Il a en effet été décidé que le GANIL ne serait pas uniquement un laboratoire d'accueil, mais également le lieu de résidence de physiciens qui auraient à animer la vie scientifique du laboratoire et devraient donner une certaine cohérence aux recherches menées au GANIL par leurs études propres et grâce à l'aide apportée aux équipes de physiciens visiteurs. Une des premières missions de ce groupe est de créer une commission des utilisateurs du GANIL, qui aura pour mission de réfléchir sur les différentes modifications techniques ou structurelles à apporter au laboratoire dans le but de faciliter la venue des expérimentateurs. Cette commission est créée en 1983 sous le nom du Bureau des Utilisateurs du GANIL (BUG), et sa première réunion se tient le 8 juin 1983. Ce Bureau, qui a un avis consultatif auprès du Conseil scientifique, aura une activité très originale dans le domaine du développement des salles d'expériences et sera un interlocuteur privilégié du secteur Techniques de la Physique. Après avoir abordé la question de la structure générale du laboratoire, intéressons-nous maintenant aux premières évolutions du laboratoire.

## 2 / L'accélérateur en fonctionnement :

Le premier point tout particulièrement réjouissant pour le secteur exploitation est la qualité du faisceau<sup>2</sup>. En effet, dès les six premiers mois d'exploitation, le faisceau est très proche de la norme GANIL pour les questions d'émittance et de dispersion en énergie dont nous avons déjà parlé. Sur les 1132 heures de fonctionnement machine, 468, soit 45 %, ont été consacrées à la physique, 560, soit 55 %, aux réglages et aux

---

<sup>2</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 17 juin 1983, Documentation GANIL

pannes, et 104, soit 10 %, aux études machines. Le faisceau accéléré durant cette période est l'argon à 44 MeV. Le seul point négatif concerne l'intensité du faisceau, qui perd deux ordres de grandeur par rapport à la norme GANIL, ce qui pose le problème inquiétant de l'impossibilité d'accélérer un faisceau de plomb ou d'uranium. Dès 1983, différentes études sont menées pour répondre à ce problème.

Dans la deuxième moitié de l'année 1983, l'accélérateur fonctionne 1844 heures, dont 1134 consacrées aux expérimentateurs, soit 62 % du temps global<sup>3</sup>. Ainsi, dès la fin 1983, la fiabilité du faisceau devient très bonne, et le paramétrage de la machine s'améliore de jour en jour. Les études sur l'intensité suivent leur cours et s'intéressent particulièrement aux caractéristiques du cyclotron injecteur Co. Grâce à une optimisation de ses réglages, l'intensité est augmentée au mois d'octobre, mais pas dans les proportions voulues. Les études machine concernent également l'accélération de nouveaux faisceaux. Ainsi, dès la fin de l'année, des faisceaux d'oxygène, d'argon et de krypton sont disponibles pour les physiciens. Un autre point positif concerne le deuxième cyclotron injecteur. Il est monté au GANIL en décembre 1983 et les premiers essais de vide et les études magnétiques sont très satisfaisants. Son fonctionnement couplé à la source ECR sur laquelle nous reviendrons est prévu pour juillet 1985.

Malgré la réduction budgétaire de 8 millions de francs sur le budget initial de 1984 qui s'élevait initialement à 76 millions de francs, l'accent est mis sur l'acquisition d'une deuxième source ECR qui serait fabriquée comme sa sœur par le laboratoire GELLER du CEN de Grenoble<sup>4</sup>. Bien que des discussions existent sur les développements des sources PIG, les premières sources du GANIL, il apparaît que les sources ECR nécessitent moins de maintenance pour une durée d'utilisation beaucoup plus importante que les sources PIG. Elles sont également plus efficaces pour obtenir des états de charge élevés pour les ions métalliques, ce qui résoudraient les problèmes du secteur accélérateur qui rencontre de grandes difficultés pour extraire un faisceau d'ions métalliques. Malgré ces soucis, l'accélérateur devient de plus en plus fiable, et les opérateurs maîtrisent de mieux en mieux le paramétrage de la machine. Ainsi, le temps consacré à la physique est passé à 74 % du temps global d'exploitation, soit 3450 heures sur 5050, et le temps consacré au démarrage a été réduit de moitié. Le panel des faisceaux accélérés augmente également : des faisceaux d'azote, de néon, de calcium et de xénon sont accélérés en 1984. Cette première période de fonctionnement, bien qu'elle ne ravisse pas les expérimentateurs qui souhaitent une augmentation du temps de faisceau disponible pour la physique, est particulièrement édifiante pour le secteur accélérateur qui apprend à mieux connaître la machine et se prépare alors aux évolutions futures. Ainsi, les études machine se poursuivent durant toute l'année afin de mieux connaître le trajet exact du faisceau lors de son passage dans les lignes de transfert, dans CSS1 puis CSS2. Pour ce qui est de la source ECR 1, arrivée au GANIL

---

<sup>3</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 15 décembre 1983, Documentation GANIL

<sup>4</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 13 décembre 1984, Documentation GANIL

en octobre 1984, les études se poursuivent afin d'améliorer son optique d'extraction et à apprendre à l'utiliser. Les essais sur la source ECR 2 sont prévus en 1985 à Grenoble. Sa livraison est prévue au GANIL pour avril 1987.

### 3 / Première évolution : GANIL configuration 2,5 :

L'année 1985 est marquée par le premier projet d'évolution technologique de l'accélérateur. Il est présenté lors du conseil scientifique du 10 juin 1985 et a pour but d'augmenter l'énergie des ions moyens et lourds. Cette opération, d'un coût évalué à 8,7 millions de francs et nécessitant un arrêt machine d'environ 6 mois, doit permettre à l'accélérateur de satisfaire à la norme GANIL en matière d'énergie. Cette opération entraîne de profondes modifications sur le cyclotron injecteur Co, sur le regroupeur, sur CSS1 et CSS2. En effet, le rapport d'épluchage doit passer de 3,5 à 2,5 en raison de l'utilisation des nouvelles sources ECR. De plus, le rayon d'injection du Co augmente légèrement, ce qui entraîne une modification importante, et tous les éléments d'injection de CSS2 doivent être changés afin de satisfaire à la multiplication du rayon d'injection par un facteur 1,4. Ces modifications imposent également l'utilisation exclusive des sources ECR. Cette opération qui a pour but d'étendre la physique du GANIL aux ions très lourds intéresse beaucoup les physiciens s'occupant des noyaux exotiques ainsi que la physique atomique. Le Conseil scientifique, après avoir débattu de cette question, donne mandat au Comité de Direction afin d'engager cette opération. M. Fermé, chef du secteur accélérateur, est nommé chef de projet. Claude Détraz, après avoir étudié le projet, insiste sur la nécessité de demander une collaboration des différents laboratoires de l'IN2P3 et de l'IRF, la modification bénéficiant à tous les expérimentateurs. En effet, cette opération ne peut être menée si la communauté de physiciens nucléaires n'est pas intéressée par l'étude des collisions avec des ions très lourds et à haute énergie. Les comités d'expériences sont donc chargés de recueillir des lettres d'intention sur la physique abordée grâce aux modifications de l'opération 2,5. Une réflexion s'engage alors sur ces questions.

Une autre question importante est aussi évoquée : celle de la production de faisceaux de haute intensité. En décembre 1984, à la demande de la Direction, quelques ingénieurs du GANIL engage une réflexion sur la possibilité de gagner deux ou trois ordres de grandeur sur l'intensité d'un nombre limité de type de faisceau. Cette demande relève, en premier lieu, de la physique des exotiques, qui comprend la production de noyaux de plus en plus éloignés de la stabilité, et qui s'intéresse également à la spectroscopie et au développement éventuel de faisceaux pour les noyaux exotiques produits en abondance suffisante. Cette option concerne essentiellement les faisceaux d'argon et de krypton. Cette modification suivrait l'opération 2,5 et demanderait l'adaptation de l'injection de Co, l'adaptation des CSS et celle des paramètres de fonctionnement de la machine.

Cette réflexion est à son stade préliminaire fin 1985, mais elle aura une postérité puisqu'elle débouchera sur l'O.A.I, l'Opération Augmentation Intensité.

Tout ceci n'empêche pas l'accélérateur de fonctionner. L'année 1985 est marquée par une légère baisse du temps global d'exploitation qui s'élève à 4750 heures. En effet, l'accélérateur n'a pas fonctionné au mois de janvier 1985, en raison de restriction budgétaire et du prix de l'électricité en hiver, le GANIL en étant un grand consommateur, la facture EDF représentant environ 1/5 du budget de fonctionnement. Malgré cela, le temps disponible pour la physique augmente, ce qui prouve que la fiabilité générale augmente encore. La disponibilité réelle du faisceau pour la physique a été de 84 %<sup>5</sup>. Un nouveau faisceau de nickel est accéléré durant l'année 1985. Un important travail est enfin mené durant toute l'année afin de mettre en place le deuxième cyclotron injecteur Co2 et la première source ECR. Les résultats de la source ECR sont excellents et laissent présager une grande qualité de production d'ions et une grande facilité d'utilisation après études et réglages. Dès 1986, l'ensemble ECR 1 + Co2 est opérationnel, ce qui permet d'obtenir une parfaite stabilité du faisceau et de faire baisser la pression sur les équipes d'opérateurs<sup>6</sup>.

#### 4 / Les dispositifs expérimentaux :

Comme nous l'avons déjà dit, toutes les salles d'expériences ne sont pas aménagées lors de la première expérience en janvier 1983. Six mois plus tard, la situation a légèrement évolué<sup>7</sup>. D1 abrite une chambre à réaction de diamètre 1 m associée à une base de temps de vol de 5 m. D2 doit recevoir à l'automne 83 la chambre à réaction Cyrano permettant les mesures dans le plan horizontal mais aussi hors plan. G1 contient Nautilus, grande chambre d'un diamètre de 3 m, capable d'abriter de grands détecteurs. G2 est la salle spécialisée dans la mesure des  $\gamma$  de réactions. C'est une salle à faible intensité, pour éviter un trop grand bruit de fond dans la salle. G3 se verra équipée au cours de l'année 1984 du SPEG, dont la mise en service est prévue fin 1984. Ce spectromètre permettra de séparer en charge et en masse tous les produits de réaction, et de mesurer leur énergie avec une précision de  $2 \times 10^{-4}$ . G4 est une salle banalisée. D3 et D4 sont consacrées à la physique atomique et à la recherche de noyaux exotiques par l'intermédiaire de LISE. Enfin, D5 contient un spectromètre de masse et aussi les dispositifs d'irradiation propres à la physique de la matière condensée. C'est donc une salle prévue pour accepter une grande intensité de faisceau. Ce parc d'appareils est conçu pour accueillir les expériences des équipes visiteuses des laboratoires de physique nucléaire, mais aussi de physique atomique et de physique de la matière condensée qui, avec l'appui du CIRIL, implanté sur le site du GANIL, utilisent les faisceaux produits.

<sup>5</sup> Bilan de fonctionnement 1985 de l'accélérateur, p. 1, Documentation GANIL

<sup>6</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 12 décembre 1985, Documentation GANIL

<sup>7</sup> Annexe 44, plan du GANIL, juin 1983

Fin 1983, le fonctionnement de la chambre à temps de vol de l'IPN d'Orsay est tout à fait satisfaisant. La qualité du vide dans Nautilus est excellente, et ce dispositif donne entière satisfaction aux physiciens. La réalisation de la chambre Cyrano a pris du retard et, devant les sollicitations pressantes sur cet équipement, la direction du GANIL demande fin 1983 à l'équipe de Saclay en charge de la réalisation de stopper leur travail et d'envoyer l'ensemble des pièces au GANIL qui terminera la mise en place des derniers composants, en particulier les commandes-contrôles des sas à cibles. Le fonctionnement définitif est prévu pour l'automne 1984. L'état d'avancement du projet SPEG est bon. Les dotations budgétaires sont maintenues et les laboratoires en charge du projet continuent à travailler pour tenir l'échéance du 4<sup>ème</sup> trimestre 1984. Pour ce qui est de LISE, tous les éléments de la ligne ont été livrés tout au long de l'année 1983, et ils sont pour la plupart en place en fin d'année. Enfin, le spectromètre de masse est complètement installé en salle D5, la chambre de collection de noyaux, après avoir été utilisé en D2, a été mise en D5, l'emplacement du jet d'hélium a été réservé, mais la date de son implantation n'est pas fixée, et le dispositif d'irradiation IRABAT, réalisé et installé par le CIRIL, a été testé.

Comme prévu, la construction de LISE s'opère durant les premiers mois de 1984 et la première expérience a lieu en mai 1984. Rappelons brièvement le fonctionnement de la ligne<sup>8</sup> : cet ensemble magnétique doublement achromatique offre deux types de sélection sur les noyaux produits dans la cible : une première séparation opérée par le champ magnétique B1 du premier dipôle d'analyse qui trie les noyaux suivant leur rigidité magnétique, suivie d'une deuxième séparation opérée par la perte d'énergie des noyaux dans une feuille de matière disposée entre les deux dipôles, suivie de l'analyse par le champ magnétique B2 du deuxième dipôle. Cette sélection, qui associe perte d'énergie et analyse magnétique, opère un tri et regroupe les noyaux en un point de focalisation chromatique. En fait, la feuille de matière, interposée sur la trajectoire des noyaux, possède un profil transverse tel que l'achromatisme du spectromètre est conservé. Cette technique porte le nom de technique du dégradeur achromatique. Nous aurons l'occasion de reparler de LISE, car cet ensemble de détection, qui fait la fierté du GANIL et de son concepteur Rémy Anne, a connu diverses évolutions et a participé à différentes expériences fondamentales de physique au GANIL.

Outre l'entrée en service du SPEG en 1985, cette même année est marquée par l'étude de la SME, Sortie Moyenne Energie<sup>9</sup>. Cette nouvelle ligne de faisceau qui n'utilise que l'accélération Co + CSS1 intéresse particulièrement la physique atomique. Cette sortie, qui s'installerait dans la salle D1 à la place de la chambre temps de vol, pose malheureusement quelques problèmes aux utilisateurs de physique nucléaire, puisque le dispositif de déviation du faisceau avant CSS2 appelé « chapeau de gendarme » fait légèrement perdre au faisceau de l'intensité et bouleverse légèrement la

---

<sup>8</sup> Annexe 45, plan de LISE

<sup>9</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 12 décembre 1985, Documentation GANIL

structure des paquets d'ions, les espaçant légèrement plus. Les physiciens sont donc assez inquiets sur ces points, car différentes discussions sont alors menées afin d'améliorer ces différents points. La communauté de physique non-nucléaire s'efforce alors de résoudre au mieux ces problèmes dans les études d'avant-projet. Le Conseil scientifique recommande alors aux décideurs de physique non-nucléaire d'engager financièrement le projet dans le but d'être capable d'engager la réalisation de la SME lors de l'arrêt accélérateur de 6 mois prévu pour les modifications de l'opération 2,5.

Dernier point à aborder : celui concernant la décision de construire un multidétecteur de particules légères à grand angle dans Nautilus. Ce projet, dont le coût est estimé à 1,65 millions de francs, et qui selon le planning doit être prêt début 1987, a le soutien de nombreuses équipes de chercheurs français et étrangers qui utilisent à Strasbourg, Nantes et au Michigan State University (MSU) des dispositifs similaires. Les études de faisabilité ne sont pas terminées fin 1985, mais le Conseil scientifique recommande malgré tout avec enthousiasme ce détecteur banalisé TONNEAU qui devra servir à de nombreuses équipes de physiciens. Ce multidétecteur sera mis en service un an plus tard dans la chambre Nautilus. Viendront s'associer à TONNEAU les multidétecteurs DELF et XYZT, qui sont destinés à la détection des fragments lourds ou de masse intermédiaire et qui sont constitués par l'empilage d'une plaque parallèle à localisation suivie d'une chambre d'ionisation à champ longitudinal, et le détecteur MUR destiné comme TONNEAU à la détection des particules légères chargées et constitué de scintillateurs plastiques de 2 mm d'épaisseur. Pour bien comprendre le principe d'utilisation de ces multidétecteurs, il faut rappeler que lors de collisions violentes, la matière nucléaire explose : les particules créées lors d'une telle explosion sont émises dans toutes les directions de l'espace entourant la cible. Il est donc essentiel de les détecter dans leur totalité afin de reconstituer le déroulement du processus initial. Ainsi, Nautilus, qui est une chambre à réaction de grand volume, 35 m<sup>3</sup>, peut recevoir les multidétecteurs devant fonctionner sous vide, et ce type de détection permet donc d'observer simultanément et dans toutes les directions les particules chargées émises. Nautilus sera très souvent utilisé associé à ces 4 multidétecteurs, ce qui donne au GANIL un équipement de qualité supplémentaire.

Ainsi, nous venons de voir que les trois premières années de fonctionnement du GANIL sont marquées par de vigoureux efforts des différents secteurs du laboratoire visant à mieux connaître le fonctionnement et les réglages de l'accélérateur. Les réflexions ne s'arrêtent pas là. Plusieurs études sont menées afin d'améliorer les performances de la machine ou de les conformer à la norme GANIL fixée par les physiciens au début des années 70. Les aires expérimentales connaissent elles aussi des changements. Toutes les salles sont désormais opérationnelles. Tous les détecteurs de première génération sont en service, et les ingénieurs et techniciens réfléchissent déjà aux possibilités d'évolution de ces dispositifs. Le laboratoire entre alors dans une seconde phase d'exploitation qui sous certains aspects ressemble à la période de

construction du GANIL. En effet, de 1986 à 1992, différentes évolutions technologiques vont modifier l'accélérateur et les dispositifs expérimentaux. L'opération 2,5 rebaptisée Opération Augmentation d'Énergie, l'O.A.E., associée à la réalisation de la SME, suivie de l'Opération Augmentation d'Intensité, l'O.A.I., vont rythmer durant ces années la vie du laboratoire. Les dispositifs expérimentaux vont eux aussi évoluer : LISE et SPEG vont connaître des évolutions, INDRA et SISSI, sur lesquels nous reviendrons seront évoqués puis réalisés. Ces phénomènes évolutifs rendent parfaitement compte de la vitalité scientifique et technologique du laboratoire. L'émulation scientifique est très forte pour une raison particulière : la moisson de résultats est impressionnante et de qualité. Et le scientifique aime par-dessus tout découvrir. Il s'agit de l'objet principal de sa recherche : la découverte. Intéressons-nous maintenant à ces questions.

## B / 1985-1992 : de profonds changements au GANIL :

La période de rodage est désormais terminée. L'accélérateur doit maintenant montrer toute la puissance de son dispositif. Mais, si nous pouvons nous permettre une comparaison avec l'automobile, son moteur est encore bridé par les problèmes d'énergie et d'intensité. Ces années vont résoudre les difficultés des ingénieurs qui, après modifications, pourront fournir aux physiciens des faisceaux couvrant toute la gamme des éléments de la classification périodique des éléments chimiques de Mendeleïev, du carbone à l'uranium, avec une intensité et une énergie suffisante pour la réalisation des expériences. Analysons donc ces évolutions.

### 1 / Différentes modifications sur l'ensemble accélérateur :

#### a / L'opération augmentation d'énergie (OAE) :

Malgré les difficultés budgétaires de 1986, le budget initial s'élevant à 63 millions de francs et la réduction budgétaire représentant la somme de 4 millions de francs, les organismes de tutelle considèrent l'O.A.E. comme une priorité. Ainsi, et ceci comme en janvier 1985, l'accélérateur est arrêté en janvier 1986 afin de faire une économie de 1,2 millions de francs sur la facture EDF. Pour revenir à l'O.A.E., le groupe de projet continue son travail dans différentes directions. Il envisage tout d'abord de modifier le regroupeur R1 plutôt que de le remplacer, sous réserve de modifications trop importantes. Les travaux théoriques sur Co avancent également, ainsi que les travaux sur CSS2. Selon le planning établi<sup>10</sup>, cette opération doit être terminée dans la deuxième moitié de l'année 1989, l'arrêt de l'accélérateur devant se produire durant l'hiver 1988-

---

<sup>10</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 9 juin 1986, Documentation GANIL, et annexe 46, planning O.A.E.

1989, précisément à partir du mois de janvier, afin d'économiser une forte somme sur la facture EDF.

Au cours de l'année 1987, les réalisations et les commandes se poursuivent. Les principaux composants sont commandés, la modification de l'injecteur est commencée. Le dee doit être modifié en avril 1988, et les essais doivent avoir lieu durant l'été. Les modifications du regroupeur R1 sont en bonne voie, l'électrode devant arriver courant 1988 et l'amplificateur étant en cours de fabrication. En décembre 1987, 2 éléments restent à fabriquer parmi les éléments d'injection de CSS2. Il semble donc possible de faire tenir les modifications dans les 6 mois d'arrêt prévus entre le 1<sup>er</sup> décembre 1988 et le 1<sup>er</sup> juin 1989<sup>11</sup>. L'année 1988 est décisive. Les études sur l'injecteur, la ligne de transfert L2, l'injection et le magnétisme dans CSS2 se terminent courant novembre, alors que les différents éléments nouveaux ont été réceptionnés et testés. Les modifications commencent donc début décembre 1988.

Les premiers essais avec faisceau commence le 23 mars 1989 au niveau Co2. En avril, le faisceau est dans la ligne L1 et le regroupeur R1, puis il est accéléré dans le CSS1 le 9 mai 1989, et dans CSS2 le 5 juin. L'accélérateur est prêt à fonctionner dès juillet 1989, et l'opération est une vraie réussite<sup>12</sup>. L'accroissement du domaine d'utilisation de la machine en énergies maximales et en gamme d'ions s'accompagne d'une nette augmentation de l'intensité des faisceaux produits. Le gain en intensité provient de trois facteurs : la mise en place d'une source d'ions nouvelle, ECR3, sur laquelle nous reviendrons dans quelques instants, qui donne un faisceau de meilleure émittance transversale et d'intensité doublée pour les ions légers et presque quadruplée pour les ions lourds ; la minoration des effets de la charge d'espace longitudinale consécutive au fonctionnement du cyclotron injecteur à plus haute énergie ; et enfin le fait que ce cyclotron soit maintenant isochrone, ce qui confère au faisceau de meilleures propriétés optiques dans la ligne L1.

Deux problèmes demandent encore à être réglés. Il apparaît comme une nécessité d'améliorer le vide du cyclotron injecteur, car les pertes de faisceau constatées en xénon et en plomb pendant le processus d'accélération sont trop importantes. Et les feuilles d'épluchage étant 5 fois plus épaisses qu'auparavant, la dispersion d'énergie du faisceau épluché est trop importante. Un contrat de collaboration est donc passé avec l'ISN de Grenoble qui permettra dès 1990 de produire des feuilles de meilleure qualité de façon à réduire cette dispersion d'énergie. Mais globalement, cette opération est un vrai succès, et le Conseil scientifique lors de sa réunion du 10 janvier 1990 félicite les artisans de ce succès et notamment M. Fermé, chef de projet. Grâce à cette opération, tous les ions du carbone à l'uranium peuvent être accélérés avec des qualités répondant à la norme GANIL en énergie et en intensité, qui bénéficiera elle aussi de nouvelles améliorations au cours des années 1990.

---

<sup>11</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 13 janvier 1988, Documentation GANIL

<sup>12</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 10 janvier 1990, Documentation GANIL

## b / La course aux sources ECR :

Depuis janvier 1986, la source ECR 1 10 GHz, nom de projet Micromafios, est en fonctionnement de routine sur Co<sub>2</sub>. Depuis cette date, environ 4200 heures de fonctionnement ont été réalisées avec cette source, contre 640 avec la source PIG, utilisé principalement pour l'obtention d'ions métalliques. Les avantages les plus évidents de la source ECR sont sa plus grande efficacité, puisque le changement de source nécessitant une heure d'arrêt toutes les 24 heures n'est plus nécessaire, sa plus grande fiabilité, la plus grande stabilité de l'intensité du faisceau accéléré, et l'obtention d'une plus grande intensité pour les hauts états de charge. En janvier 1987, on installe un four radial sur ECR 1, équipement destiné à la production d'ions métalliques. Par contre, elle n'est pas adaptée à l'O.A.E.

L'objectif suivant que se fixe le groupe des sources est la mise en service de la source ECR 2 10 GHz, nom de projet Ferromafios. Cette source doit permettre l'obtention des ions gazeux selon le même principe que ECR 1, et doit obtenir une production d'ions métalliques dans de bonnes conditions de stabilité. Ces études se placent dans la perspective d'utiliser cette source lors de l'opération augmentation d'énergie. Elle a été commandée début 1985 au laboratoire GELLER de Grenoble. Les tests se poursuivent durant l'année 1986, et la source est livrée au GANIL en décembre 1986<sup>13</sup>. Elle entre en service en juillet 1987 sur le banc d'essais, et elle permet alors la mise au point d'ions métalliques comme le cuivre ou le nickel.

Une nouvelle source va changer la donne. Il s'agit de ECR 3 10 GHz, nom de prototype Caprice 2B, qui est construite cette fois par le GANIL, sur les plans du CEN Grenoble. Elle est opérationnelle en 1989 et possède des performances meilleures que ECR 1 et ECR 2 à partir de l'argon et surtout pour les ions très lourds. Cette source, d'une maintenance encore plus simple, est choisie pour servir de support à l'O.A.E. Dans la perspective de l'O.A.I., une nouvelle source ECR 4 14 GHz, nom de projet Neomafios, est évoquée. Un prototype de cette source est construit en 1987. L'objectif fixé en janvier 1988 est l'augmentation des courants de ECR 3 d'un facteur 1,5, ce qui doit augmenter les performances. A plus long terme, on évoque le passage de la source à 30 GHz, ce qui entraînerait un gain de facteur 5 pour les états d'ionisation envisagés. Pour avoir ce gain avec les ions très lourds, il est envisagé une solution supraconductrice, et un contrat est en cours de discussion, pour la réalisation d'une telle source, entre MSU et le CEN Grenoble. Mais ces réalisations ne sont alors qu'au stade de projet<sup>14</sup>.

Durant la réalisation de l'opération augmentation d'énergie, les tests sur les sources continuent. ECR 3 testée jusqu'en mars sur le banc de source, et les résultats sont conformes aux prévisions. Fin mars, la source ECR 3 est montée sur l'injecteur Co<sub>2</sub>

---

<sup>13</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 27 mai 1987, Documentation GANIL

<sup>14</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 19 avril 1989, Documentation GANIL

dans le but de commencer les tests de l'O.A.E. prévus à cette période. La réalisation contribue à la réussite de l'opération, et en raison des bons résultats de l'opération, la source ECR 2 est montée sur le banc de test pour être modifiée en source Caprice 2B, le type de la source ECR 3. Les études se poursuivent afin de réaliser une source adéquate à l'O.A.I dont nous parlerons dans quelques instants. Fin 1989, le groupe des sources a accompli un travail formidable en collaboration avec le CEN Grenoble qui a pour conséquence immédiate la réussite de l'O.A.E. et qui a pour objectif suivant la réussite de l'O.A.I.<sup>15</sup>

### c / L'opération augmentation d'intensité : nouvelle réussite :

Le 9 juin 1986, un groupe de physiciens présente au Conseil scientifique une étude préliminaire sur l'intérêt pour la physique de faisceaux de haute intensité. Il en ressort qu'une réflexion importante doit être menée sur les expériences possibles avec de tels faisceaux, tout en soulignant que cette augmentation de l'intensité doit également répondre à la norme GANIL fixée au début des années 1970. L'accent est mis sur la possibilité d'étudier et de produire certains noyaux exotiques difficilement accessibles à de plus faibles intensités<sup>16</sup>. Pour ce qui est du projet haute intensité présenté au Conseil scientifique du 12 décembre 1985, il est clair que différents problèmes se posent au sujet des modifications à prévoir sur l'ensemble accélérateur. Une nouvelle injection et une nouvelle source sont à développer. Ces développements pourraient alors rentrer en concurrence avec l'O.A.E. déjà décidée. Le Conseil scientifique décide donc de maintenir l'opération augmentation d'énergie, mais propose également que la réflexion continue sur l'augmentation de l'intensité en accord avec les modifications prévues pour l'O.A.E. en 1989. Cette opération représente un financement global de 18 millions de francs, ce qui en fait un projet de tout premier ordre.

En 1988, différents laboratoires extérieurs au GANIL sont consultés pour participer à la réalisation de la plateforme haute tension d'injection dans Co.<sup>17</sup> Cette opération a pour but d'utiliser des intensités élevées à l'injection dans Co grâce à la source ECR 3. A cet effet, la principale modification consiste à réduire les effets de charge d'espace en augmentant la vitesse des ions à l'injection. En septembre 1990, le mode de fonctionnement normal du GANIL à l'injection doit être plateforme 100 kV + Co1 modifié + ECR 3. La préétude de l'infrastructure se termine en avril 1989. La construction de la plateforme haute tension se termine fin 1989, et son montage sur Co1 après modification de l'infecteur est réalisé en avril 1990. Fin juin 1990, la source ECR 4 est terminée et montée sur le banc de test. En décembre 1990, les premiers essais avec faisceaux sont conduits avec la plateforme seule, et à partir du mois de mars 1991,

---

<sup>15</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 10 janvier 1990, Documentation GANIL

<sup>16</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 9 juin 1986, Documentation GANIL

<sup>17</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 1<sup>er</sup> juin 1988, Documentation GANIL

l'ensemble entre en phase de test<sup>18</sup>. En effet, il est apparu qu'il fallait adapter l'ensemble accélérateur aux hautes intensités : une opération baptisée THI, Transport Haute Intensité, est nécessaire afin de transporter la puissance contenue dans les faisceaux légers aux énergies les plus élevées. Fin 1992, l'opération se termine, et les intensités des faisceaux de plomb et d'uranium sont excellentes et conformes aux prévisions de 1986. L'utilisation par les physiciens des faisceaux produits commence début 1993. Cette opération, bien que plus complexe et plus étendue dans le temps, est une véritable réussite. Mais lors de son entrée en fonctionnement, cette nouvelle réussite est éclipsée par le nouveau cheval de bataille du GANIL : le projet de post-accélérateur de faisceaux secondaires. C'est une autre histoire sur laquelle nous reviendrons. Durant toute cette période, les dispositifs expérimentaux connaissent également une profonde évolution. C'est ce que nous étudierons maintenant.

## 2 / L'évolution et le renouvellement des dispositifs expérimentaux :

### a / La Sortie Moyenne Energie :

La décision de construire la SME est prise en mai 1986 par la communauté de physique non nucléaire. Le financement par les partenaires scientifiques, le CEA et le CNRS, et par la région Basse-Normandie est assuré, et le personnel nécessaire, à savoir 1 ingénieur et 2 techniciens a été trouvé par le CIRIL. Au cours du Conseil scientifique du 7 janvier 1987, les membres donnent leur accord pour que la SME soit implantée dans la salle D1 à la place de la chambre temps de vol. Les équipements de physique non nucléaire présents dans la salles D5, en particulier le dispositif IRABAT, seront alors transportés en D1, ce qui aura pour effet de rendre D5 à la physique nucléaire<sup>19</sup>. Revenons ici brièvement sur le projet. A la sortie de CSS1 et après l'éplucheur, le faisceau est engagé dans le dispositif appelé chapeau de gendarme où un septum permet de séparer les ions à accélérer dans CSS2 des ions de charge inférieure qui constituent le faisceau de moyenne énergie. Le faisceau de la SME servira essentiellement à des expériences de physique atomique et de physique de la matière condensée, qui se trouvent très à l'étroit dans les 10 % de temps de faisceau actuellement dévolus à la physique non nucléaire.

Selon le planning établi en 1987, il apparaît que la réalisation de cette ligne doit être terminée en juillet 1989, à la fin de la réalisation de l'opération augmentation d'énergie. En effet, les travaux sur la ligne L1 doivent se faire lors de l'arrêt programmé durant l'hiver 1988-1989. Au cours de l'année 1988, la construction des éléments magnétiques ne prend pas de retard et la réalisation du septum continue au CERN de Genève. Tous les éléments de la nouvelle ligne sont testés et prêts à être assemblés en décembre 1988.

---

<sup>18</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 26 juin 1991, Documentation GANIL

<sup>19</sup> Annexe 47, plan d'implantation de la SME

Au cours de l'arrêt accélérateur, les travaux se déroulent globalement dans les délais prévus malgré quelques aléas concernant l'installation des murs de béton et l'aménagement de D1. En novembre 1989, l'ensemble de la ligne est opérationnel, et une note conjointe GANIL-CIRIL du 14 novembre 1989 fixe les modalités d'utilisation de la SME<sup>20</sup>. La réussite de ce projet, mené de main de maître en collaboration avec le CIRIL, prouve une nouvelle fois la capacité d'adaptation du GANIL aux recherches de ses partenaires. La SME va en effet faire progresser grandement les recherches en physique atomique et en physique de la matière condensée. Enfin, après un passé glorieux, la chambre temps de vol est le premier équipement des débuts du GANIL qui disparaît du laboratoire. Elle est affectée au laboratoire SATURNE et pourra par ailleurs être utilisée par d'autres utilisateurs.

### b / De nouveaux dispositifs pour suivre l'OAE :

Début 1987, une consultation est lancée auprès des utilisateurs du GANIL au sujet des équipements lourds nouveaux dans la perspective de l'O.A.E. qui doit être opérationnelle en septembre 1989. Les propositions s'organisent autour d'une amélioration de la ligne LISE et la ligne L3, de la réalisation d'un double spectromètre magnétique achromatique et de grande acceptance nommé DUO, de la fabrication d'un multidétecteur  $4\pi$  de photons gamma, de la création d'un multidétecteur compact à haute résolution et grand angle solide pour les particules chargées, et de la conception d'une nouvelle chambre à réaction à symétrie axiale et de grande dimension. Après avoir examiné les différentes propositions, le Conseil scientifique du 27 mai 1987 recommande l'amélioration de la ligne LISE, la réalisation du multidétecteur  $4\pi$  de photons gamma, et demande des approfondissements techniques pour DUO, pour le détecteur pour particules chargées et pour la grande chambre à réaction banalisée.

### c / TAPS : un premier pas vers la collaboration européenne :

L'année 1988 est marquée par l'évocation du projet TAPS, Two Arms Photon Spectrometer, en rapport avec la physique du rayonnement gamma. Ce projet est élaboré grâce à une collaboration du GANIL avec le GSI de Darmstadt l'université de Giessen, le KVI de Groningen et l'université de Münster. Cet ensemble de détection doit comporter un minimum de 4 paquets de 64 détecteurs. Il est associé à un mur de plastique permettant une sélection des paramètres d'impact, et est destiné à détecter les photons entre 1 MeV et 1 GeV de chaque côté du faisceau à un mètre de la cible. Il permet une discrimination entre photons et particules chargées grâce à l'usage d'un plastique veto, et entre photons et neutrons par analyse de la forme du signal, et par

---

<sup>20</sup> Annexe 48, note conjointe GANIL-CIRIL sur l'utilisation de la SME

temps de vol. Cet ensemble serait composé de 256 détecteurs BaF2 de 25 cm de long et de 6 cm de diamètre, dont environ 100 appartiendrait au GANIL, et seraient disposés sous la forme d'un multidétecteur  $4\pi$  autour de la cible<sup>21</sup>. Lors du Conseil scientifique du 1<sup>er</sup> juin 1988, Claude Détraz fait savoir que le Comité de Direction a accepté le principe de collaboration avec le GSI pour la réalisation de TAPS, pour un montant de 3 millions de francs. Le montant global du projet représente la somme de 20 millions de francs, et c'est la compagnie Mercx qui est chargée de fabriquer 320 détecteurs BaF2. La première expérience est prévue au GANIL en janvier 1990<sup>22</sup>. L'utilisation de TAPS est également régie par une convention signée en 1989 par les laboratoires partenaires, qui précise que l'équipement sera installé au GANIL pendant une durée de 4 mois tous les 18 mois. La réalisation est quant à elle terminée en janvier 1990 et les premières expériences commencent à cette date, TAPS étant associé au SPEG. Après deux ans de travail et un planning respecté à la minute, cette belle réussite montre une nouvelle et remarquable capacité d'adaptation du GANIL aux évolutions scientifiques et technologiques. Claude Détraz, qui s'est beaucoup consacré au projet, a initié lors de cette opération, une collaboration importante entre deux laboratoires concurrents, le GSI et le GANIL. Cette première pierre à l'édifice de la future grande coopération européenne marque une nouvelle transition dans l'histoire de la physique nucléaire. Bien que composée de physiciens du monde entier, elle restait sujette à l'esprit de clocher. Les années 90 vont faire voler en éclats cette situation, une collaboration européenne, voire internationale devenant nécessaire pour réaliser des équipements qui demandent de plus en plus de temps et d'argent. Attention, il ne s'agit pas d'une simple course à la technologie pour la technologie. Mais les détecteurs et les équipements qui sondent le cœur de l'atome, le noyau, doivent se transformer souvent pour explorer au plus près ce constituant fondamental de notre univers. Ainsi, des modifications et des créations vont intervenir au GANIL. Analysons-les.

### d / De LISE à LISE 3 :

Pour accroître les possibilités de LISE après l'O.A.E., de nombreuses équipes de physiciens avaient souhaité dans leurs réponses au questionnaire sur les équipements qui suivraient l'O.A.E. que la ligne soit modifiée. Rémy Anna est chargé par Claude Détraz de ce projet, qui se concrétise en 1987 par la réalisation d'un dispositif pour envoyer le faisceau sur cible avec un angle variable de 0 à 3°, dans le but de sortir de l'acceptance géométrique du spectromètre les états de charge du faisceau projectile et de diminuer ainsi le taux de comptage de la détection. La sélection des noyaux exotiques devient ainsi encore plus fine et moins polluées par le faisceau projectile. Cette

---

<sup>21</sup> Annexe 49, le multidétecteur TAPS

<sup>22</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 10 janvier 1990, Documentation GANIL

opération très intéressante est d'un coût réduit puisqu'elle ne représente que la somme de 400 000 francs.

Mais les améliorations ne s'arrêtent pas là. Afin de répondre à l'opération augmentation d'intensité, Rémy Anne réfléchit à une nouvelle modification de LISE, cette fois plus importante. Il recommande au Conseil scientifique du 1<sup>er</sup> juin 1988 l'adjonction à LISE d'un troisième étage. Il s'agit d'éliminer les isotones du noyau que l'on veut étudier car ils augmentent de façon prohibitive le taux de comptage dans les détecteurs. Cette amélioration permettrait en 1990 d'utiliser les faisceaux du GANIL pour la physique des noyaux exotiques qui apparaît alors comme le nouveau grand objectif du laboratoire et de son directeur Claude Détraz. Le principe est accepté par le Conseil et le projet prend le nom de LISE 3. Le planning prévoit que la nouvelle ligne sera opérationnelle en février 1990 pour un montant global de 5,2 millions de francs. Il s'agit techniquement d'ajouter à LISE un filtre de vitesse dit « filtre de Wien », du nom de son inventeur qui permet une sélection supplémentaire en vitesse grâce à un champ électrostatique et un champ magnétique croisés. Son implantation à la suite du premier étage magnétique nécessite la construction d'une déviation achromatique de grandissement unité et d'une longueur de 12 m, ce qui porte l'ensemble de la ligne spectromètre magnétique plus filtre à 45 m<sup>23</sup>.

Le projet prend un léger retard début 1990 en raison d'un retard de livraison d'une partie des électro-aimants au GANIL. Les premiers tests de faisceau ont lieu les 16 et 17 juin 1990<sup>24</sup> et la première expérience a lieu en septembre. La ligne est alors prête à répondre aux nouvelles exigences scientifiques qui désormais s'orientent sur une étude plus poussée des noyaux exotiques et sur la possibilité de produire des faisceaux de noyaux exotiques. La réponse à cette demande sera concrétisée par la réalisation de SISSI, Source d'Ions Secondaires à Supraconducteurs Intense.

### e / SISSI et les exotiques :

L'étude des noyaux exotiques prend une part primordiale dans les objectifs scientifiques du GANIL tout au long de sa première décennie. De discipline très peu développée dans les années 70, cette physique fait au début des années 90 la réputation du GANIL. Nous aurons l'occasion d'y revenir lorsque nous aborderons en dernier lieu l'aspect de la recherche fondamentale au GANIL. Afin de garder une avance importante dans cette discipline, la Direction du GANIL initie un projet qui vise non plus à produire des noyaux éloignés de la stabilité, mais à matérialiser un faisceau entier de noyaux exotiques. Le principal problème réside dans le fait que les noyaux exotiques et les faisceaux secondaires qui sont produits lors du bombardement d'une cible par le

---

<sup>23</sup> Rémy Anne, *LISE et son évolution*, août 1994, Documentation GANIL, et annexe 50, implantation de LISE 3

<sup>24</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 26 juin 1991, Documentation GANIL

faisceau en amont du spectromètre alpha ont une émittance très supérieure à celle qui peut être conduite correctement par le transport de faisceau jusqu'aux aires expérimentales<sup>25</sup>. Il en résulte une perte d'intensité. SISSI va donc pallier ce problème.

Un dossier technique détaillé est présenté lors du Conseil scientifique du 10 janvier 1990. Il s'agit d'un ensemble de deux solénoïdes, des bobines supraconductrices avec leur enceinte Hélium, disposés de part et d'autre d'une cible de production d'ions secondaires qui est implanté à la sortie de CSS2, à l'entrée du spectromètre alpha et donc en amont des salles d'expériences<sup>26</sup>. Ce projet fait appel à des techniques nouvelles au GANIL : tout d'abord la technologie des supraconducteurs, matériaux qu'il est nécessaire d'utiliser pour la réalisation des solénoïdes compte-tenu des objectifs à atteindre du point de vue magnétique ; et la cryogénie, qui permet d'atteindre les températures nécessaires au fonctionnement en mode supraconducteur. L'ensemble du projet doit donc tenir compte de la réalisation de l'ensemble des deux solénoïdes, de la conception et de la fabrication du système de cryogénie et de cryostat destiné à la thermalisation des bobines, de la création d'un porte-cible permettant de résoudre les problèmes posés par l'échauffement de la cible à l'impact du faisceau et de l'adaptation des installations du GANIL aux nouvelles contingences qu'implique la mise en place de SISSI à la sortie de CSS2<sup>27</sup>. Cette disposition lui confère d'ailleurs un atout important, le faisceau de SISSI pouvant ainsi être distribué dans toutes les salles et en particulier vers les deux spectromètres LISE et SPEG. Le Conseil scientifique, appuyé du grand enthousiasme de la communauté de physique nucléaire, recommande le projet au Comité de Direction, précisant qu'il doit être considéré comme un objectif essentiel de développement scientifique et technique du laboratoire, qui resterait ainsi dans la compétition mondiale qui se livre sur l'échiquier de la physique des noyaux exotiques. Ce projet de réalisation de faisceaux secondaires de qualité représente également une première mondiale, et tous les efforts doivent converger pour sa conception et sa réalisation.

Le Comité de Direction accepte ce projet début 1990 et affecte une première somme d'un million de francs à sa réalisation. La société Oxford Instruments est choisie en 1991 pour la réalisation des bobines. Ce projet qui s'étale sur 4 ans connaît une étape importante lors des études de faisabilité sur la ligne L3 située après CSS2. En effet, il faut absolument que l'on puisse retrouver les mêmes caractéristiques d'utilisation du faisceau lorsque SISSI n'est pas en fonctionnement. La décision prise est donc de placer le dispositif sur un tourniquet, ce qui permettra de faire pivoter l'ensemble de 90°. En effet, il existe de part et d'autre du dispositif une ligne de faisceau de type classique. On ne devra donc pas démonter SISSI à chaque changement de faisceau. Ainsi, les dossiers de plans « bons pour fabrication » sont acceptés fin 1991<sup>28</sup>, et les principales pièces sont

---

<sup>25</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 19 avril 1989, Documentation GANIL

<sup>26</sup> Annexe 51, plan et photographie de SISSI.

<sup>27</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 9 janvier 1991, Documentation GANIL

<sup>28</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 1<sup>er</sup> avril 1992, Documentation GANIL

commandées courant 1992. Les tests de cryogénie sont effectués quant à eux au SBT du CEA à Grenoble. Malheureusement, le projet prend trois mois de retard début 1993, car la société Oxford Instruments a raté la fabrication d'une des bobines. Alors que SISSI devait selon le premier planning être installée en mai 1993 sur la ligne L3, les tests finaux sont effectués à l'usine d'Oxford les 9 et 10 août 1993. C'est un succès, car les résultats sont conformes aux prévisions. Le 6 septembre, tous les éléments de SISSI sont au GANIL. L'assemblage et le montage ont lieu sur une plate-forme d'essais située en bout du hall machine, à proximité du local des mesures magnétiques. Entre la mi-septembre et le début octobre, les bobines sont montées dans leur cryostat. Les derniers tests de cryogénie et magnétiques se déroulent jusque début 1994, et l'ensemble SISSI fonctionne avec succès pour la première fois couplé à un faisceau le 6 janvier 1994. Le GANIL rattrape ainsi le léger retard pris sur ses concurrents de RIKEN au Japon dans le domaine des faisceaux secondaires. Et le projet ne s'arrête pas là. On parle désormais d'un post-accélérateur de faisceaux secondaires...

### f / INDRA et les noyaux chauds :

Lors de la réunion du Conseil scientifique du 19 avril 1989, un projet de détecteur  $\pi$ , baptisé INDRA, pour les fragments de masses intermédiaires avec de bonnes conditions d'identification, un seuil en énergie faible et une granularité suffisante pour les multiplicités prévues, conditions nécessaires à remplir pour progresser dans l'étude des mécanismes de réaction, fait l'unanimité au sein des membres. Ce besoin d'un détecteur de seconde génération déjà évoqué début 1987 est accentué par la mise en place de l'O.A.E. qui permet l'étude de système plus lourds et plus chauds impliquant une production plus importante de fragments. Les caractéristiques de ce détecteur sont ensuite présentées<sup>29</sup>. Sa mécanique principale aura la forme d'une structure en couronne<sup>30</sup>, et la modularité de cet ensemble permet une adaptation à différentes situations expérimentales. Pour ce qui est de l'électronique, il est prévu qu'elle soit entièrement à commande informatisée avec une visualisation de signaux à distance. Pour ce qui est des détecteurs, ils seront choisis selon les modules disponibles dans les sociétés industrielles ou les laboratoires. Enfin, le planning de base situe la mise en service d'INDRA pour la fin 1991, pour une somme de 6 millions de francs. C'est un nom fameux pour ce détecteur qui doit être lors de sa mise en service le plus performant dans son domaine d'utilisation. Dans la religion védique, la plus ancienne de l'Inde, c'est le dieu-roi, combattant infatigable dont le rôle est de maintenir l'ordre cosmique en éliminant par la violence portée à son extrême les ennemis de l'Ordre. Hymnes et brâhmanas content la mise à mort du dragon Vrta qui retenait les eaux du ciel et de ce fait empêchait l'univers de naître. Indra, élu champion des dieux, le tue en le perçant de

---

<sup>29</sup> Annexe 52, principe de fonctionnement d'INDRA

<sup>30</sup> Annexe 53, photographie et couronnes d'INDRA

son arme et libère ainsi les forces de vie : le feu, Agni, la vie, Soma ; c'est alors seulement que tout est mis en place : le Ciel, la Terre, et que prolifèrent les être vivants. C'est un nom bien choisi pour un dispositif qui permet l'étude des forces libérées par les noyaux...

Au cours de l'année 1989, différents essais ont permis de confirmer les choix des détecteurs. Ce travail s'est fait en collaboration avec le LPC de Caen pour les détecteurs Phoswich, l'IPN d'Orsay pour les CsI et le DAPNIA de Saclay pour les chambres d'ionisation et l'électronique associée. Une convention est d'ailleurs passée en 1989 pour que INDRA soit fabriquée en collaboration avec ces trois laboratoires associés au GANIL. L'implantation d'INDRA est également prévue dans la salle D5<sup>31</sup>. Les années 1990 et 1991 sont dédiées à la fabrication des détecteurs et au montage des couronnes. Fin 1991, le premier exemplaire des chambres d'ionisation réalisé par le DAPNIA de Saclay est disponible. L'ensemble des 324 cristaux CsI et leur photomultiplicateur associé est livré et testé à l'IPN d'Orsay. Les détecteurs Si au silicium sont livrés à 75 % au GANIL où ils sont en cours de test. L'assemblage de la couronne 4-5, à savoir 12 cellules chambre d'ionisation, 48 voies Si et 48 cristaux CsI, est en cours dans la salle D5. Tout cet ensemble, ainsi que quelques scintillateurs Phoswich, est d'ailleurs testé sous faisceau en novembre. L'installation des « couronnes avant » qui représentent près de la moitié des détecteurs d'INDRA, se poursuit jusqu'en mars 1992, et l'assemblage des « couronnes arrières » s'effectue durant l'été de la même année. C'est en novembre 1992 que la dernière expérience test met en œuvre la quasi-totalité de détecteur, et la première expérience a lieu le 9 février 1993, le lendemain de l'inauguration d'INDRA. C'est une nouvelle fois la réussite d'un projet initié 4 ans plus tôt, et qui a nécessité la collaboration étroite de 4 laboratoires. Ainsi, le GANIL se dote d'un détecteur de dernière génération qui va permettre de mieux comprendre le processus de multifragmentation grâce à la capacité d'INDRA à détecter toutes les particules dans un espace donné.

INDRA n'est pas le seul détecteur dédié à l'étude des noyaux chauds. Il existe également au GANIL un détecteur du nom d'ORION, désignation empruntée à la célèbre constellation, mais qui signifie Organic Interceptor of Neutrons. Ce détecteur, construit conjointement par les physiciens du Centre d'Etudes de Bruyères-le-Châtel et du GANIL à la suite d'expériences réalisées au HMI de Berlin en 1984 et 1985, entre en service au GANIL au cours de l'été 1988. Joël Galin, physicien du GANIL, peut être considéré comme le père de ce détecteur. ORION permet de dénombrer les neutrons et d'en déduire la température d'un noyau après collision. D'autres détecteurs de particules chargées, situés au cœur d'ORION, aident à caractériser les modes de formation et de refroidissement de ce noyau. L'intérêt des études menées sur ce détecteur comme sur INDRA réside dans l'amélioration de nos connaissances des propriétés de la matière nucléaire dans ses différents états extrêmes et dans l'affinement de notre compréhension

---

<sup>31</sup> Annexe 54, implantation d'INDRA

de phénomènes stellaires tels que les explosions d'étoiles donnant naissance aux supernovae. Le détecteur Orion est donc constitué de 4200 litres de scintillateur liquide dopé au gadolinium. Le liquide est un mélange de 4 constituants : un solvant, un scintillateur, un changeur de longueur d'onde et un capteur de neutrons. Ainsi, les neutrons, ralentis par chocs successifs sur les noyaux d'hydrogène et de carbone du liquide sont capturés par les noyaux de gadolinium, avec une grande probabilité, en émettant un rayonnement gamma. Les photomultiplicateurs entourant le scintillateur détectent la lumière issue de la diffusion de ce dernier dans le scintillateur liquide. Le détecteur permet ainsi à la fois de mesurer l'énergie cinétique totale des neutrons et d'évaluer leur abondance. Ainsi, ORION restera au GANIL un instrument privilégié de l'étude sur les noyaux chauds.

### g / Nouveaux systèmes Contrôles et d'acquisition de données:

Le premier système de commandes-contrôles du GANIL avait été mis en place afin de répondre très rapidement aux besoins des expérimentateurs. Mais durant les années 1980, l'électronique et l'informatique ont fait un bond spectaculaire dans le domaine de la capacité de stockage et de la vitesse du traitement de l'information. Ainsi, dès 1988, on envisage de remplacer tout le système d'acquisition de données<sup>32</sup>. Le système acquerra ainsi dans son ensemble une plus grande rapidité de réaction, d'acquisition, de codage, et une plus grande capacité de stockage<sup>33</sup>. Ces changements demandent évidemment la fabrication de nouveaux processeurs et l'écriture de nouveaux programmes. Le choix se porte donc sur l'utilisation de calculateurs VAX/VMS et de processeurs VME. La décision est également prise de mettre en œuvre de façon transparente la nouvelle acquisition. Ainsi, le système initial continuera de contrôler la machine pendant que le nouveau sera mis en place.

Le nouveau système est opérationnel en février 1993 pour le 10<sup>ème</sup> anniversaire du GANIL. Après avoir conduit pendant une décennie le GANIL depuis le premier faisceau délivré pour la physique le 18 janvier 1983, le système de contrôle centré sur les ordinateurs MITRA a donné la main au nouveau système de contrôle. Du premier système, le contrôle de la nouvelle génération a hérité de l'importante installation Camac en frontal, interface d'acquisition de données, sur les quelque 2000 équipements de la machine et d'une expérience considérable en matière de pilotage informatisé de l'accélérateur. Le nouveau système de contrôle s'appuie sur des processeurs modernes et sur une architecture répartie à trois niveaux d'intelligence fédérés par un réseau Ethernet :

---

<sup>32</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 1<sup>er</sup> juin 1988, Documentation GANIL

<sup>33</sup> Annexe 55, schéma général de l'acquisition

- ↳ Le niveau supérieur, bâti autour d'un ordinateur VAX 6410/VMS, qui est dédié aux développements et traitements des informations en mode hors ligne. Ce niveau est relié à l'extérieur à travers la dorsale Ethernet.
- ↳ Le niveau intermédiaire, où s'exerce le dialogue homme-machine, qui s'appuie sur un VAX 4400/VMS et des consoles opérateur. Ces consoles, placées dans la salle de commande principale, dans la galerie électronique et dans les bâtiments d'acquisition de la physique, présentent une interface opérateur résolument orienté graphique haute résolution à multifenêtrage. Chaque console comprend une station de travail et un terminal x dotés d'écrans couleur et un ensemble de huit pseudopotentiomètres réaffectables. Les contrôles et commandes peuvent s'effectuer en mode élémentaire, une action individuelle sur les équipements, ou en mode global, une action collective sur un nombre important d'équipements via les nouvelles applications.
- ↳ Le niveau frontal où s'exécute le contrôle en temps réel des équipements à l'aide de microprocesseurs RTVAX/VAXELN intégrés dans des contrôleurs au standard Camac et VME et d'automates programmables industriels PB 400 et Siemens S5-135U.

Les principales caractéristiques du nouveau système sont sa convivialité, grâce à une prise en main très facile, sa puissance potentiel considérable, en matériel comme en logiciels, et son évolutivité, c'est-à-dire sa capacité à s'adapter, sans difficultés ni bouleversements de principe, aux développements futurs de GANIL et d'intégrer les techniques nouvelles pour améliorer encore les performances de l'accélérateur<sup>34</sup>. Ce nouveau système de contrôle a été conçu et réalisé au terme de trois années particulièrement actives par le Groupe Informatique Machine, avec la collaboration déterminante des Groupes Electronique Machine et Opération et Paramètres du secteur Exploitation. Et cela, surtout, en transparence complète pour la conduite de l'accélérateur.

### 3 / l'accélérateur et l'environnement pluridisciplinaire :

#### a / Un accélérateur au service de la physique :

L'année 1986 est marquée par une certaine stabilité de la disponibilité du faisceau pour les physiciens. Sur 4830 heures de fonctionnement, 3612 ont été réservées à la physique. Le nombre de faisceaux différents accélérés s'élèvent à 23, dont 11 nouveaux

grâce aux premiers tests sur la source ECR 1. Sur les 44 expériences réalisées durant cette période, les 2 dispositifs expérimentaux les plus utilisés sont LISE et le SPEG, qui représentent à eux seuls 53 % du taux d'occupation des salles de physique<sup>35</sup>.

En 1987, l'accélérateur a fonctionné 4527 heures, dont 3300 pour la physique, soit 73 %<sup>36</sup>. Cette différence avec l'année précédente s'explique par la panne rencontrée sur le résonateur sud. Le mercredi 1<sup>er</sup> avril à 13 heures, une remontée brutale de pression dans l'enceinte du CSS2 a entraîné la disjonction, par fonctionnement des dispositifs de sécurité, des équipements d'injection et d'éjection ainsi que des deux résonateurs haute fréquence. La recherche du défaut d'étanchéité entreprise aussitôt a permis d'établir qu'il s'agissait d'une fuite d'eau localisée dans le résonateur sud. Le 2 avril, en fin de journée, le test d'étanchéité systématique de toutes les épingle de refroidissement de ce résonateur s'achevait avec la détection de 2 fuites : la première, très grosse, sur un des circuits de refroidissement de dee, et la seconde, légère, sur un des circuits refroidissant la coque extérieure du résonateur. La chambre à vide de CSS2 a ensuite été mise à la pression atmosphérique et les opérations de recul du résonateur ont commencé. L'examen oculaire, effectué à travers les ouvertures de la coque extérieure du résonateur, a permis de constater des coulées importantes de brasure à l'étain par l'une des ouïes situées à l'arrière du dee, ainsi qu'une zone de déformation de la tôle du dee sur le repli de la lèvre de bord. Le tube du circuit de refroidissement est quant à lui percé à l'intérieur. Le 3 avril se déroulent les premiers essais d'accélération dans CSS1 avec un seul résonateur en service. Grâce à l'étude de compensation magnétique de l'oscillation d'orbite réalisée par le groupe théorie du secteur développement, les premiers essais concluants ont lieu fin avril, et l'accélérateur reprend son fonctionnement au mois de mai avec des caractéristiques quasi identiques. Le résonateur endommagé et pour sa part envoyé au constructeur le 17 avril pour réparation et son remontage s'effectue pendant l'arrêt d'été du 27 juillet au 27 août. Le challenge forcé de faire fonctionner CSS2 avec un résonateur a été relevé par les ingénieurs du GANIL, et la réussite de l'entreprise montre une nouvelle fois la qualité et les compétences remarquables des ingénieurs et techniciens du laboratoire. Malgré ce problème important, la perte du faisceau n'a duré qu'un mois. Cette année 1987 a également été une réussite du côté de la productivité. En effet, on est passé de 40 heures en 1986 à 28 heures en 1987 pour la durée moyenne d'un réglage complet de la machine, ce qui a permis de tester grâce au gain de temps 10 réglages machine supplémentaires. Quant au nombre d'expériences réalisées, il s'élève à 36, une légère baisse due à l'arrêt u mois d'avril. Au cours de cette année, LISE et SPEG tiennent toujours la dragée haute aux autres salles avec 50 % du temps global d'utilisation des salles de physique. Il faut

---

<sup>34</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 3 juin 1993, Documentation GANIL

<sup>35</sup> Fonctionnement et études machine pour l'année 1986, Documentation GANIL

<sup>36</sup> Fonctionnement et études machine pour l'année 1987, Documentation GANIL

également signaler que les études sur les sources ECR se poursuivent avec en point de mire l'O.A.E.

En ce qui concerne l'année 1988<sup>37</sup>, l'accélérateur fonctionne 4765 heures, dont 3250 réservées à la physique, soit 68,2 %. Cette légère baisse est la conséquence des études machine qui précèdent l'O.A.E. Ce sont 23 faisceaux différents qui ont été accélérés, ce qui a permis la réalisation de 44 expériences différentes, SPEG et LISE représentant toujours les salles les plus convoitées, avec cependant une légère baisse de 10 %. Comme nous l'avons déjà vu, la moitié de l'année 1989 est consacrée à la réalisation de l'O.A.E., ce qui fait bien évidemment chuter le temps de fonctionnement accélérateur à 2335 heures, dont 1557 consacrées à la physique, soit 66,7 %.

L'année 1990 est l'année des résultats de l'O.A.E. qui se concrétisent<sup>38</sup>. Après un arrêt technique en janvier, pendant lequel des équipements ont été implantés et des essais d'ions nouveaux effectués, une répartition du temps machine inédite a été mise en place. La durée de fonctionnement a été de 36 semaines réparties en 7 périodes variables de 4 à 7 semaines consécutives. La souplesse d'utilisation du faisceau a ainsi été augmentée par la réduction du nombre de démarrages et l'introduction de courtes périodes non programmées dites « tampons d'expériences ». Sur 5682 heures programmées, 3643 heures de faisceau ont été fournies sur cible. L'opération augmentation d'énergie s'est concrétisée par la réussite de l'accélération du plomb et de l'uranium 238. Tous les ions du carbone à l'uranium peuvent à partir de 1990 être accélérés<sup>39</sup>. De plus l'intensité fournie a été fortement augmentée du fait de l'installation de la source ECR 3. Parallèlement, la SME étant devenue opérationnelle à la sortie de CSS1, de nombreuses expériences ont pu être réalisées. En parlant d'expériences, 46 différentes ont été réalisées en 1990, pour un temps partagé pour moitié entre LISE et SPEG. L'accélération de l'uranium est vraiment le fait marquant de cette année 1990, car 8 ans après le démarrage, la machine est capable d'accélérer cet élément qui théoriquement devait être accéléré dès la mise en service du GANIL, comme cela été prévu par la norme GANIL et le second livre bleu.

L'année 1991 n'a malheureusement pas donné lieu à un rapport de fonctionnement, mais on peut tout de même préciser que l'accélérateur a fonctionné cette année là 5531 heures, dont 3426 pour la physique, soit 62 %. Les résultats de 1992 sont sensiblement proches. Sur 5333 heures de fonctionnement, 3594 ont été consacrées à la physique, ce qui représente 68 %, soit une légère augmentation<sup>40</sup>. De plus, 1860 heures ont été fournies à la SME permettant de réaliser une cinquantaine d'expériences. L'année 1992 est également marquée par le fait que les ions métalliques ont été accélérés pendant 36 % du temps ; certains étaient produits pour la première fois au GANIL grâce à ECR 3 pour le tellure 125 et le chrome 52, et à ECR 4 pour le tantale 181, un élément qui

---

<sup>37</sup> Fonctionnement et études machine pour l'année 1988, Documentation GANIL

<sup>38</sup> Fonctionnement et études machine pour l'année 1990, Documentation GANIL

<sup>39</sup> Annexe 56, les ions accélérés au GANIL après l'O.A.E.

<sup>40</sup> Fonctionnement et études machine pour l'année 1992, Documentation GANIL

causait beaucoup de difficultés au groupe des sources du GANIL. Des études machine pour transporter des grandes intensités ont été entreprises avec un faisceau de néon et ont permis d'obtenir  $7,5 \times 10^{12}$  pps à la sortie de CSS1. Si ce faisceau avait été accéléré ensuite dans CSS2, sa puissance aurait été 5 fois plus grande que ce qui est toléré à cette date pour la sécurité des équipements. Le nouvel ensemble injecteur dont nous avons déjà parlé pour l'O.A.I., constitué de la source ECR 4 fonctionnant sur une plate-forme de 100 kV, d'une nouvelle injection axiale et du cyclotron Co1, a permis de délivrer après accélération des CSS1 et CSS2 du tantale à l'énergie de 40 MeV pour plusieurs expériences de physique. Des études ont d'ailleurs commencé avec l'opération THI, Transport Haute Intensité, pour améliorer les performances de l'ensemble, en particulier pour les ions métalliques difficiles à produire comme l'uranium. Il faut également noter que 47 expériences ont eu lieu en 1992, avec une utilisation record du SPEG de 38 %, qui reste avec LISE en tête des dispositifs utilisés, avec une part avoisinant les 55 %. Si l'on fait la somme des heures de fonctionnement de l'accélérateur, on arrive au total de 47161 heures, dont 27878 réservée à la physique, soit un taux brut de faisceau sur cible de 60 %. Au premier abord, on pourrait penser que ce chiffre est un peu faible. Mais si nous regardons dans le détail, nous nous apercevons, et c'est une force essentielle du GANIL, que le faisceau accéléré par le GANIL possède des qualités en optique, en intensité et en énergie excellentes et surtout très fiable, c'est-à-dire que le nombre de pannes durant une expérience est très faible, ce qui est un gage essentiel de qualité et de sécurité pour les expérimentateurs.

La question de la production scientifique vient bien évidemment à notre esprit. De 1983 à 1992, c'est au total 693 articles, conférences, rapports, mémoires et thèses qui ont fait l'objet de publications. La majorité des articles ont été édités dans des revues européennes. Cependant, on peut signaler qu'une quarantaine d'articles sur 205 sont parus dans les revues américaines. Le rôle d'accueil du laboratoire est aussi clairement mis en lumière par l'importance des publications n'ayant pas un premier signataire GANIL. Revenons un instant sur ce fonctionnement des signataires. Lorsqu'une expérience est réalisée, elle possède un porte-parole qui est chargé de résumer l'expérience et ses résultats. Ensuite, parmi les membres de l'équipe de physiciens, l'un d'entre eux, souvent le porte-parole présente un article expliquant cette même expérience à des revues spécialisées. On peut ainsi savoir quelle est la proportion de physiciens visiteurs ayant publié un article. Elle est au GANIL de 78 %, ce qui montre que l'objectif initial de faire de l'accélérateur un laboratoire d'accueil a été tenu, mais aussi que le principe des physiciens résidents est une réussite puisque pour attirer autant de physiciens, il a fallu mettre en place au GANIL une vie scientifique et technique riche, nous venons de le voir. De plus, le laboratoire a une double envergure, puisqu'il attire chaque année environ 300 physiciens des laboratoires de physique nucléaire en France, mais également plus d'une centaine de physiciens venus de toute l'Europe et des autres continents. Ainsi, de 1985 à 1988, 530 physiciens étrangers ont bénéficié des

structures d'accueil du GANIL. Dernier fait marquant qui montre la vitalité du laboratoire : tous les ans depuis 1984 se tient un colloque à Giens, dans le Var, sur un sujet précis étudié au GANIL soit en physique nucléaire soit en physique des interactions matière-ions lourds. Mais l'action du GANIL ne s'arrête pas là. Laboratoire d'accueil, il est aussi laboratoire de formation. Il accueille tous les ans plusieurs dizaines de stagiaires et de thésards dans les domaines aussi vastes que la physique nucléaire, la physique atomique et de la matière condensée, la physique théorique, la physique des accélérateurs, l'informatique. Il existe enfin une profonde volonté de communiquer le savoir grâce aux expositions et aux journées portes ouvertes GANIL qui accueillent à chaque visite plus d'un millier de visiteurs. Le GANIL possède également une intéressante vidéothèque dont les cassettes sont gracieusement prêtées sur demande aux établissements scolaires. Il édite également chaque année un calendrier illustrant les thèmes de la physique développée au GANIL, et propose aussi des fiches scientifiques, adressées aux organes de presse régionaux et nationaux, permettant d'informer les journalistes des avancées marquantes. Le GANIL est véritablement un laboratoire à la volonté d'ouverture, tant par son accueil de physiciens de tous les horizons que par sa capacité à communiquer les savoirs. Ce trait caractéristique, présent dans l'article premier du texte fondateur du laboratoire, se retrouve toujours dans l'organisation générale de la recherche au GANIL. Cette volonté d'ouverture apparaît ainsi comme une nouveauté et un grand progrès par rapport aux anciennes formes de laboratoires qui restaient bien souvent totalement fermés au public. GANIL a su renouveler le genre, et cela avec brio.

### b / Les applications industrielles :

De part sa structure juridique, le GANIL en tant que G.I.E. détient la possibilité de vendre du temps de faisceau à des entreprises privées ou publiques qui seraient intéressées par les applications de la physique du GANIL. Cette forme de coopération se concrétise tout d'abord en décembre 1986 par la signature d'un contrat de coopération industrielle entre le G.I.E. GANIL, en collaboration avec le CIRIL, et la société BSI, plus connue sous le nom de BIOPORE-BIOSYSTEM, afin de fabriquer des membranes microporeuses destinées à la microfiltration utilisée par exemple dans l'enrichissement de l'uranium ou le retraitement des déchets radioactifs<sup>41</sup>. Des films sont ainsi irradiés dans la salle G4 pour 100 heures minimum et 400 heures maximum. Ces heures sont payées 20 000 francs de l'heure. La ligne de faisceau en G4 est pour sa part financé par BSI et par l'ANVAR. La société BIOPORE est confrontée dans son domaine d'action à une grande concurrence, ce qui demande du GANIL une grande exigence quant à la qualité des filtres fabriqués. La grande qualité des membranes fabriquées prouve s'il le fallait encore que les techniciens et ingénieurs du GANIL possèdent une formidable

---

<sup>41</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 7 janvier 1987, Documentation GANIL

capacité d'adaptation, puisqu'ils savent même travailler avec des impératifs commerciaux, un laboratoire de recherche fondamentale n'étant théoriquement pas fait pour travailler sur des applications commerciales. Cette collaboration durera jusqu'en mars 1991 jusqu'à la mise en redressement judiciaire de l'entreprise qui n'a pu trouver sa place sur les marchés des filtres microporeux. Les qualités exceptionnelles et inégalées des membranes produites au GANIL n'ont pas suffi.

Mais le GANIL ne se retrouve pas pour autant sans client. La société MATRA espace utilise également depuis 1988 les faisceaux du GANIL pour simuler le rayonnement cosmique et estimer la tenue des composants électroniques embarqués lors des missions spatiales<sup>42</sup>. C'est le SAIF, le Service des Applications Industrielles des Faisceaux, qui étudie et réalise des lignes d'irradiation spécifiques. En effet, il serait bon de revenir sur la méthode, l'impact des ions lourds dans la matière provoque des dégâts dont il peut être tiré profit pour modifier les propriétés des matériaux. Pour les matériaux plastiques, la révélation chimique des dégâts engendre l'apparition de pores micrométriques. C'est la technique utilisée pour les filtres BIOPORE. En ce qui concerne les simulations de l'environnement spatial, nous savons que les composants électroniques embarqués dans les satellites subissent des détériorations occasionnées par le rayonnement cosmique. L'utilisation des faisceaux d'ions lourds permet de simuler ce rayonnement et donc de qualifier les technologies utilisées pour améliorer la tenue de ces composants dans l'espace. Ce principe de coopération est intéressant car il montre qu'un laboratoire de recherche fondamentale peut s'impliquer dans une action industrielle. Mais ce genre de collaboration reste tout de même minoritaire au GANIL.

#### 4 / Le GANIL et sa région :

##### a / Le laboratoire CYCERON :

La première décennie est également marquée par l'installation sur le site du GANIL du laboratoire CYCERON. Après évaluation par une commission de la DGRST en décembre 1981, le site de Caen avait été retenu par Jean-Pierre Chevènement pour l'établissement d'un centre de recherche par TEP, c'est-à-dire par Tomographie par Emission de Positons. Le projet caennais présentait en effet de nombreux atouts, notamment la possibilité d'une implantation proche à la fois de nombreux établissements hospitaliers comme le CHRU, le Centre François Baclesse ou le Centre Esquirol, apportant les compétences médicales nécessaires, et du GANIL, permettant de bénéficier d'un support logistique essentiel dans de nombreux domaines techniques. Il existait à la même époque une grande détermination des collectivités régionales à impulser en Basse-Normandie la recherche et la formation dans le domaine des Sciences de la vie.

Après décision ministérielle en août 1983 et mise au point du montage juridique et financier de l'opération en décembre 1984, le CEA s'est vu confier la maîtrise d'œuvre des études techniques et de la réalisation qui a débuté en janvier 1986 avec l'ouverture du chantier du bâtiment. En mars 1987, le bâtiment est livré par la société RUFA ; en avril 1987, le cyclotron est installé et la mise en place du laboratoire de chimie commence ; en juin 1988, la caméra à positons est livrée, et les premiers examens commencent en avril 1989. Le coût global de l'investissement est de 60 millions de francs partagés entre les collectivités régionales, à savoir la région Basse-Normandie, le département du Calvados et la ville de Caen, et les organismes nationaux de recherche, le CEA, le CNRS et l'INSERM. Le fonctionnement du centre CYCERON est assuré dans le cadre juridique d'un Groupement d'Intérêt Public, un GIP, associant des partenaires ayant vocation en matière de recherche et de formation dans le domaine des sciences de la vie, des partenaires à vocation médicale et le GANIL dont le support technique et logistique demeure important<sup>43</sup>.

Mais comment tout ceci fonctionne-t-il ? La technique de TEP permet de localiser, en chaque point d'un organe, une substance marquée par un radioélément, administrée à un sujet vivant, et de suivre dans le temps l'évolution de cette substance. Elle fournit ainsi une image quantitative du fonctionnement de l'organe étudié, en renseignant sur la capacité de cet organe à fixer, assimiler, transformer la substance qui lui a été fournie. La TEP se distingue donc d'autres techniques tomographiques, comme le scanner ou l'I.R.M., qui ne donnent qu'une description de l'anatomie de l'organe examiné. La TEP est basée sur l'existence de radioéléments qui se désintègrent par émission de positons, particules tout à fait semblables aux électrons mais porteurs d'une charge électrique opposée. Lorsque cette émission se produit dans un milieu matériel, tel un organe vivant, le positon après un parcours très bref de 1 à 3 mm se combine à un électron du milieu et disparaît. Cette annihilation d'une paire positon-électron est quasi instantanée et elle se traduit par l'émission dans des directions opposées de 2 photons gamma semblables aux photons constitutifs de la lumière mais d'énergie plus élevée. La détection de tels photons gamma émis en coïncidence permet de localiser le point d'annihilation et donc, celui-ci étant pratiquement confondu avec le point d'émission du positon, de dresser la cartographie du radioélément dans l'organe vivant étudié.

Les équipements essentiels du centre CYCERON, nécessaires à la réalisation d'examens par TEP, sont :

- ↳ Le cyclotron, pour produire des radioéléments émetteurs de positons. Tout comme au GANIL, le cyclotron utilise l'action d'un champ électrique et d'un champ magnétique perpendiculaires pour délivrer les faisceaux : sous l'action de tels champs convenablement choisis, des ions introduits au centre

---

<sup>42</sup> Fonctionnement et études machine pour l'année 1988, Documentation GANIL

<sup>43</sup> Annexe 57, quelques images du Centre CYCERON

d'une enceinte à vide décrivent une trajectoire en spirale divergente tandis que leur énergie cinétique s'accroît. Arrivés à la périphérie, ils sont extraits de cette enceinte et envoyés sur la cible. Le cyclotron de CYCERON, type CYPRIS 325, a été spécifiquement conçu et construit par la société française CGR MeV, qui avait déjà œuvré pour le GANIL, pour la production de 4 radioéléments qui sont l'oxygène 15, l'azote 13, le carbone 11 et le fluor 18, tous des isotopes des éléments chimiques de base. A cette fin, le cyclotron peut délivrer deux types de faisceaux, chacun à une énergie fixe prédéterminée, à savoir un faisceau de protons ou un faisceau de deutons, noyaux formés par l'association d'un proton et d'un neutron.

- ↳ Les laboratoires de chimie de synthèse, pour marquer par incorporation de radioéléments les molécules d'intérêt biomédical. Tous les radioéléments se caractérisent par une demi-vie très brève : 50 % du radioélément produit a disparu par émission d'un positon, au bout de 2 minutes pour l'oxygène 15, au bout de 2 heures pour le fluor 18. Le marquage doit donc être effectué très rapidement. De plus, les rendements de synthèse sont souvent faibles, ce qui impose un travail à niveau de radioactivité élevée, alors même que le niveau d'irradiation du sujet examiné est très faible. Enfin, les conditions de pureté chimique et d'innocuité biologique de la molécule marquée administrée sont celles qui s'imposent pour tout produit pharmaceutique.
  
- ↳ Un tomographe, la caméra à positons, pour localiser ces molécules dans l'organe étudié et suivre leur évolution au cours de l'examen. La caméra a été étudiée et construite par le LETI, un laboratoire du CEA situé à Grenoble. La caméra permet de dresser la cartographie de la molécule marquée grâce à des détecteurs constitués par l'association d'un cristal scintillant de fluorure de baryum et d'un photomultiplicateur qui transforme l'impulsion lumineuse émise par le cristal en impulsion électrique. Pour obtenir une bonne efficacité de détection, un grand nombre de tels détecteurs, 324 exactement, sont disposés en couronne autour de l'organe étudié. La caméra comporte 4 de ces couronnes, ce qui permet d'obtenir les images de l'organe selon 7 plans. Un important dispositif informatique est également exigé, et il doit assurer l'enregistrement des données, la reconstruction des images et la modélisation pour donner une image représentative du fonctionnement de l'organe.

Les examens par TEP sont pratiqués avec un objectif de diagnostic pour le malade ou de recherche sur la maladie. Ils sont d'une totale innocuité pour le patient : la quantité de radioéléments servant au marquage de la substance administrée est très faible et, du

fait de leur brève durée de vie, ils sont éliminés en quelques heures. Les examens effectués à CYCERON concernent essentiellement la pathologie cérébrale : accidents vasculaires cérébraux, tumeurs intracrâniennes, maladies dégénératives, états névrotiques ou psychotiques. C'est un centre de grande qualité et de grande réputation, qui a permis une nouvelle fois à la Basse-Normandie de développer sa capacité à initier des programmes de recherche dans des domaines aussi différents que la physique nucléaire et la médecine, deux disciplines pouvant malgré tout se rejoindre parfois, le Centre CYCERON en étant la preuve vivante.

### b / GANIL et son Directeur :

Claude Détraz, deuxième directeur du GANIL, est une des personnalités de cette première décennie. C'est lui qui a parmi d'autres donné ses lettres de noblesse au GANIL. Il a tout d'abord encouragé les évolutions technologiques de l'accélérateur et des détecteurs afin de placer GANIL comme un laboratoire de pointe en recherche fondamentale. Il a également su soutenir la politique d'investissement scientifique sur la recherche des noyaux exotiques, cette branche de la physique nucléaire ne faisant pas l'unanimité dans la communauté des chercheurs, alors même qu'elle était en plein essor dans le monde entier. Certains physiciens redoutaient en effet que cette étude devienne majoritaire au GANIL au point de mettre en parenthèse toutes les autres recherches. Attitude dangereuse pour certains, aucune découverte n'étant sûre en recherche fondamentale. N'allait-on pas s'aventurer sur une voie de garage ? La physique des exotiques est-elle si prometteuse ? Ne fait-on pas au GANIL de la technologie pour la technologie ? Ne laissons-nous pas de côté l'essence même de la recherche fondamentale ? Claude Détraz et son entourage scientifique ont pris le risque, expériences et études préalables à l'appui, mais toujours avec une part de doute. Aujourd'hui, SPIRAL apporte la preuve de la validité de l'engagement. L'esprit visionnaire a été récompensé.

Le GANIL connaît également le 1<sup>er</sup> juin 1988 un changement de directeur adjoint : Michel Martinot, à ce poste depuis juillet 1987, est appelé à d'autres fonctions au CEA. Il est remplacé par Samuel Harar, déjà adjoint à Marc Lefort de 1975 à 1979. Samuel Harar a effectué ses études universitaires à Alger. Recruté au CNRS en 1961, il prépare sa thèse de doctorat dans le service de Physique Nucléaire à Basse Energie de Saclay, le DPhN/BE que nous avons déjà évoqué. Entre 1965 et 1968, il participe à des programmes de recherches sur les mécanismes de réactions directes et de structure nucléaire auprès de Tandems Van de Graaf de Saclay, d'Aldermaston en Grande-Bretagne et de Riso au Danemark. En 1969, il passe une année sabbatique au Laboratoire de Physique Nucléaire de l'Université de Rochester où il s'initie aux mécanismes de réactions nucléaires induites par des ions lourds. Maître de recherches au CNRS en 1972, il collabore aux travaux du groupe d'études mixte CEA-CNRS

chargé de définir les perspectives à moyen terme de la physique nucléaire. En 1975, il est nommé conseiller scientifique au CEA et adjoint au Directeur du GANIL et contribue à la réalisation du laboratoire. En 1978, nommé chef du DPhN/BE, il lance un projet de jouvence du Tandem de Saclay et dirige au cours des années 80 des programmes de recherche auprès de GANIL et de SATURNE. Et lorsque Claude Détraz quitte la direction du GANIL en 1990, alors nommé directeur de recherche au LPC de Caen, c'est Samuel Harar qui est nommé directeur du GANIL en compagnie, comme les statuts le prévoient, de M. Doubre du C.N.R.S., une direction paritaire devant être respectée. C'est donc la première fois que le directeur du GANIL est du CEA. Il va quant à lui encourager la réalisation des projets en cours à son arrivée, comme INDRA ou SISSI et l'O.A.I., et il sera le promoteur du projet GANIL plus, appelé par la suite projet SPIRAL.

Mais revenons un instant à Claude Détraz. Signalons tout d'abord que de 1976 à 1980 et de 1983 à 1989, il est membre du Conseil supérieur de la recherche et de la technologie, et ancien président de la section physique nucléaire du Comité national du C.N.R.S. de 1976 à 1980. Son activité de Directeur et de chercheur au sein du GANIL, il est en effet le porte-parole de plus d'une dizaine d'expériences durant les huit années qu'il passe à Caen, ne l'empêche pas de réfléchir au projet d'un comité européen pour la collaboration en physique nucléaire. Il est ainsi l'un des trois initiateurs de NuPECC, Nuclear Physics European Collaboration Committee, dont il est le président depuis 1988. Ce Comité va très rapidement devenir l'organe consultatif essentiel pour la validation des grands programmes de physique nucléaire, et il offrira d'ailleurs un appui sans faille au projet SPIRAL. De plus, lors de sa nomination au LPC, Claude Détraz est également appelé au cabinet de M. Hubert Curien, alors Ministre de la Recherche et de la Technologie, comme conseiller technique chargé de la recherche fondamentale, du suivi des établissements publics à caractère scientifique et technologique et de la recherche universitaire. C'est enfin en mars 1992 qu'il est nommé Directeur de l'IN2P3 et parallèlement Directeur du département physique nucléaire et corpusculaire au C.N.R.S., remplaçant à ces deux postes M. Pierre Lehmann. Malgré ces importantes responsabilités, Claude Détraz continuera à suivre et à encourager les évolutions du GANIL. D'ailleurs, vice-président du comité économique et social de la Basse-Normandie depuis 1989, il rédige en 1991 un rapport qui a pour titre *Développements scientifiques autour du GANIL : bilan et perspectives*. Dans ce rapport, il explique tout d'abord que le GANIL est un formidable atout pour la région et demande aux collectivités locales de poursuivre leur effort de promotion de la recherche, seul moyen pour attirer des entreprises à haut degré de technologie, qui brassent des sommes très importantes dont la région pourrait profiter. Et il demande bien évidemment que la coopération GANIL-Basse-Normandie se perpétue dans le temps autour du futur projet SPIRAL.

Concluons en évoquant une bien triste nouvelle : Michel d'Ornano, qui avait pris la décision d'implanter le GANIL à Caen, est renversé accidentellement le 8 mars sur un boulevard de Saint-Cloud par une fourgonnette. Il est décédé à son arrivée à l'hôpital des accidentés de la route à Garches. Sa mort ébranle l'opinion publique nationale, mais c'est la Basse-Normandie qui subit le plus grand traumatisme. Michel d'Ornano avait beaucoup donné à la région, et tous les responsables politiques locaux saluent cet homme d'envergure, de fidélité et d'une grande capacité d'anticipation. La Direction du GANIL se rappelle que sans Michel d'Ornano, le GANIL n'aurait peut-être pas vu le jour...

### c/ Budgets et effectif 1983-1992 :

Evoquons enfin deux derniers points qui ont leur importance : les effectifs et le budget.<sup>44</sup> Pour ce qui est du personnel, le GANIL étant rentré dans sa phase d'exploitation, il n'existe pas sur les 10 ans de grandes variations. Les mutations et les départs sont compensés par les organismes de tutelle : de 222 en 1983, l'effectif passe à 238 en 1992, avec une chute à 219 en 1990. Le statut du GANIL de droit privé a ainsi permis aux organisations syndicales de demander la création d'un Conseil de laboratoire au sein duquel les délégués syndicaux C.N.R.S. et C.E.A. peuvent rencontrer la Direction et discuter des différents problèmes soulevés par le personnel du GANIL.

Les dotations budgétaires sur ces dix années ont respecté les engagements pris par les organismes de tutelle d'assurer au GANIL un fonctionnement de qualité et de lui ouvrir des possibilités d'évolution technologique. Le bilan est le suivant : 89 millions en 1983, 65,5 en 1984, 65 en 1985, 65,5 en 1986, 66 en 1987, 80 en 1988, 75 en 1989, 72 en 1990, 71 en 1991 et 67 millions en 1992. Les dotations ont été en général légèrement inférieur aux prévisions du Secrétariat général, ce qui a obligé à partir de 1985 d'arrêter l'accélérateur en janvier pour économiser sur la facture EDF, puis de l'arrêter en décembre, janvier et un mois sur juillet et août, ces périodes étant désormais consacrées aux études de développement. Mais, et c'est le point essentiel, aucune évolution technologique essentielle n'a été refusée au GANIL pour des raisons d'économie. La qualité de l'utilisation des dotations a donné beaucoup de crédit au GANIL et lui a permis de bénéficier de la confiance du C.E.A. et du C.N.R.S. pour les projets innovants. Mais il ne faudrait pas oublier le but fondamental du GANIL qui est de contribuer à l'avancement des connaissances en physique nucléaire. Et la première décennie du GANIL a connu une grande vitalité dans ce domaine. Intéressons-nous à ces physiciens qui cherchent à comprendre ce dont nous sommes tous formés.

---

<sup>44</sup> Rapports d'activité 1983 à 1992 du G.I.E. GANIL, Documentation GANIL

## C / Des résultats scientifiques à la mesure de l'engagement :

Nous souhaiterions commencer par quelques précisions. Tout d'abord, il faut bien comprendre dans quel contexte se déroule la recherche fondamentale en physique nucléaire et en physique de l'atome et de la matière condensée. Toute l'expérience se déroule sur un environnement impalpable, invisible. Le faisceau n'est pas apparent, et il est impossible de « filmer en direct » les collisions entre la cible et le faisceau. Les expérimentateurs sont donc des détectives de la science, qui patiemment tout au long de leur temps de faisceau, emmagasinent des milliards d'informations sur les interactions entre le faisceau d'ions lourds et la cible choisie. Il peut alors être très frustrant de ne pas palper l'objet de ses recherches. Mais la connaissance issue de l'expérience est trop attirante pour se laisser détourner de l'objet de la quête du savoir. Le GANIL a accueilli tout au long de sa première décennie des milliers de physiciens avides de connaissances. Sur les quelque 27 878 heures consacrées à la physique, les découvertes, les confirmations, les mises en cause, les remaniements de théorie ont été nombreux. Nous allons essayer de dresser un bilan global de ces avancées scientifiques, dans le but de démontrer que la vitalité du GANIL fut grande, et le projet initial concrétisé. Cette étude n'a pas la volonté d'être exhaustive sur le sujet. En effet, il pourrait être dangereux de présenter la physique nucléaire sur le seul exemple du GANIL, car de nombreux laboratoires en France et à l'étranger participent grâce à des moyens originaux à l'avancée des connaissances. Eclairer cette science uniquement par le GANIL appauvrirait incontestablement le sujet, une étude complète au plan internationale étant et nécessaire et notre objectif à moyenne échéance. Cette partie a donc pour but de donner un aperçu général de la diversité et de l'intérêt des thèmes étudiés sur un sujet fort complexe.

### 1 / Mais qui est-il ce noyau ?

Situé au cœur de l'atome, le noyau constitue l'essentiel de sa masse. Très petit et très dense, il est composé de nucléons différenciés par leur charge électrique, positive pour les protons et nulle pour les neutrons. Le noyau est ainsi défini par son nombre de masse  $A$ , égal au nombre de nucléons, et par son numéro atomique  $Z$ , égal au nombre de protons. Il comporte donc  $A-Z$  neutrons. C'est le nombre de protons qui « fixe » l'élément : un noyau composé de 6 protons sera toujours du carbone, qu'il ait 6, 7 ou 8 neutrons. On parle alors du carbone 12, celui présent dans la nature, et de ses isotopes, le carbone 13, le carbone 14, bien connu des géologues, des paléontologues, des préhistoriens et des archéologues.

Deux forces prévalent au sein du noyau. La force électromagnétique à longue portée s'exerce entre protons. Répulsive, elle a un effet déstabilisateur. L'autre, la force nucléaire, à courte portée, est un puissant ciment qui lie les nucléons, préservant ainsi la

stabilité de l'édifice nucléaire. Un ensemble de nucléons ne peut former un édifice lié, assurant sa propre cohésion, que si le nombre de protons ne diffère pas trop du nombre de neutrons.

Parmi les 1500 noyaux expérimentalement identifiés en 1992, près de 300, les plus liés, sont stables. Les autres ont une durée de vie limitée : ils se transforment spontanément en noyaux plus stables en émettant des particules et des rayonnements, ils sont donc radioactifs. Loin d'être figés, les nucléons au sein du noyau sont animés d'une vitesse atteignant le tiers de celle de la lumière, soit environ 100 000 km/s. La petite taille du noyau lui confère également des propriétés quantiques, c'est-à-dire que ses différents états possibles sont associés à des niveaux d'énergie bien distincts, du moins tant qu'il n'est pas trop excité<sup>45</sup>.

L'une des originalités du noyau est d'être un objet physique comportant trop de constituants pour qu'une description détaillée microscopique du mouvement de chacun d'eux puisse être donnée, mais en comportant aussi trop peu pour qu'une description macroscopique soit toujours pleinement satisfaisante. Néanmoins, dans les noyaux suffisamment lourds, on peut considérer que les nucléons constituent un milieu fluide quasi-continu que l'on dénomme « matière nucléaire ».

Pour étudier les noyaux, il faut les perturber, les exciter. Pour cela, les physiciens provoquent en laboratoire des collisions entre noyaux. C'est la physique qui est développée au GANIL. A partir de la mesure des caractéristiques des débris de la collision, il est possible de reconstituer le scénario lors de l'impact. Dans certains cas, et la GANIL en a fait sa spécialité, ce sont les débris eux-mêmes qui, en tant que noyaux rares, constituent l'objet d'études éventuelles. Mais la nature et l'importance des excitations dépendent des caractéristiques des noyaux projectiles. Ceux du GANIL sont lourds car formés d'un nombre élevé de nucléons. Ils sont accélérés dans un domaine de vitesses tel que la vitesse d'approche des noyaux entrant en collision est voisine de la vitesse propre des nucléons dans leurs noyaux, une condition indispensable pour dépasser la répulsion coulombienne qui empêche deux noyaux d'interagir dans des conditions stables. Lors de ces collisions, les noyaux accèdent à des états nouveaux qui n'avaient jamais pu être atteints auparavant ou qui ne l'avaient jamais été dans des conditions aussi bien contrôlées, donc propices à l'analyse. Ce sont d'une part des noyaux dont la composition nucléonique est inhabituelle et qui se manifeste par l'excès d'une des deux espèces de nucléons par rapport à l'autre, les noyaux exotiques, et d'autre part des noyaux particulièrement excités, ou noyaux chauds, tels ceux qui existent dans les étoiles massives à la fin de leur évolution, les supernovae. Toutes ces expériences ont pour but de découvrir fondamentalement ce qu'est un noyau.

---

<sup>45</sup> La majeure partie de ces idées est tirée du livre de Monique Bex, André Chabert, Joël Galin, Joël Pouthas et Eric Suraud, *G.A.N.I.L.*, Caen, Les Editions du GANIL, 1990, 64 p.

## 2 / Les noyaux exotiques : vitrine du GANIL :

Il est d'usage de qualifier d'exotiques de noyaux qui, par rapport aux noyaux stables, sont caractérisés par un fort déséquilibre entre leurs nombres de protons et de neutrons. Ces noyaux, inexistant sur terre et formés au cœur des étoiles, se désintègrent en d'autres noyaux stables par transformation d'un neutron en proton ou vice versa. Ces noyaux présentent un double intérêt du point de vue strictement nucléaire et pour la cosmologie. En effet, les prédictions théoriques des modèles nucléaires, bâtis essentiellement à partir des données relatives aux noyaux stables, peuvent ainsi être confrontées aux propriétés de noyaux présentant une composition nucléonique très variée. De plus, les modèles cosmologiques de l'évolution de la matière stellaire et de la nucléosynthèse ont besoin, quant à eux, pour être exploités efficacement, d'utiliser le maximum de grandeurs expérimentales caractérisant ces noyaux, et particulier leurs durées de vie et leurs modes de désintégration. Le GANIL est devenu tout au long de sa première décennie un laboratoire de pointe dans ces domaines grâce à l'utilisation des ions lourds qui constitue l'une des méthodes les plus efficaces de production de noyaux exotiques<sup>46</sup>. Tout se passe dans les collisions « périphériques » au cours desquelles deux noyaux ne s'interpénètrent que très faiblement. Le noyau projectile échange alors avec le noyau cible un certain nombre de nucléons sans que pour autant sa vitesse initiale soit profondément altérée. La nature des noyaux produits est influencée par la composition neutrons/protons des partenaires de la collision. La grande variété des faisceaux du GANIL facilite le choix optimal de ces partenaires. On comprend ainsi mieux la volonté permanente du secteur accélérateur de développer des nouveaux types de faisceaux : il est nécessaire d'offrir aux expérimentateurs une large gamme de possibilités de collisions. L'avantage que procurent les collisions d'ions lourds aux énergies du GANIL, par rapport à d'autres voies explorées par le passé, découle des propriétés cinématiques des noyaux formés. Ils sont émis dans une direction proche de celle du faisceau incident et animés d'une vitesse bien définie. Ainsi, l'utilisation des analyseurs magnétiques LISE et SPEG permet leur détection. Des méthodes ingénieuses ont été développées pour filtrer parmi tous les noyaux formés, ceux qui sont recherchés. Les noyaux parcourent en effet 100 m en quelques millièmes de seconde. Le « chronomètre fournit le temps de vol des noyaux avec une précision de quelques dixièmes de milliardièmes de seconde. La mesure ainsi obtenue de la vitesse des noyaux, associée à celle de l'énergie cinétique, permet de déduire la masse atomique avec une précision relative proche du millionième. Les physiciens disposent ainsi au GANIL d'équipements qui ont su s'adapter à leurs besoins dans la quête de ces noyaux exotiques. Les différentes évolutions de LISE en sont la preuve.

Une fois les données de base exploitées, l'information première concerne l'existence ou la non existence du noyau recherché. La détection d'un noyau constitue en elle-

---

<sup>46</sup> Annexe 58, noyaux exotiques étudiés au GANIL

même une information essentielle quant aux limites supposées de la stabilité. Des noyaux tels que le néon 29 et le fluor 29 ont pu être observés, contredisant ainsi les nombreux modèles qui ne prédisaient pas de systèmes liés pour de telles combinaisons nucléoniques. L'énergie de liaison, la quantité d'énergie nécessaire pour maintenir le noyau lié, peut alors être mesurée. Une fois connue cette énergie du noyau dans son état fondamental, toute une recherche systématique relative aux différents états quantiques peut être entreprise. Des mesures de spectroscopie permettent par ailleurs de repérer les niveaux d'énergie, d'en déduire comment les nucléons s'associent, quelle forme a ce noyau, sphérique, oblongue, aplatie.

Les périodes de désintégration des noyaux, en plus de leur intérêt intrinsèque, fournissent des informations importantes aux astrophysiciens. Les modèles de nucléosynthèse qu'ils développent se nourrissent en effet de ces données pour préciser les conditions de production de noyaux dans les supernovae.

Un nouveau mode de désintégration, telle la radioactivité par émission de deux protons, est recherché pour des noyaux comme le titane 39. Certains noyaux ayant un nombre pair de protons, supérieur au nombre de neutrons, pourraient en effet spontanément émettre une paire de protons, un mode radioactif jamais observé jusqu'ici. Enfin, des informations relatives aux tailles des noyaux exotiques en fonction de l'excès du nombre de neutrons par rapport à celui des protons, ont été obtenues en utilisant les noyaux exotiques comme projectiles pour provoquer des collisions avec des noyaux stables. Leur probabilité d'interaction mesurée croît avec la taille. L'hypothèse d'un halo de neutrons pour des noyaux très excédentaires en neutrons tels que le lithium 11 a pu être testée par cette mesure. Et les projets SISSI et de post-accélérateur de faisceaux secondaires doivent permettre au GANIL d'atteindre un champ de recherche nouveau dans la physique des exotiques.

Tous ces progrès réalisés dans ce domaine de recherche sont le fruit d'une approche systématique. La qualité des résultats dépend de l'abondance des noyaux produits ainsi que de l'adaptation des outils nécessaires à l'étude de leurs propriétés. Des efforts constants ont été entrepris tout au long de la décennie pour élargir la palette des noyaux projectiles disponibles, leur domaine d'énergie et d'intensité. Une meilleure compréhension des mécanismes de synthèse des noyaux exotiques devrait également permettre le choix optimal des partenaires de la collision en fonction des noyaux recherchés. Toutes ces évolutions permettent au début des années 90 d'ouvrir des possibilités nouvelles en étudiant des noyaux non accessibles à l'analyse.

## 2 / Les noyaux chauds :

Lorsque deux noyaux entrent en collision, ils peuvent s'interpénétrer et se fondre temporairement en un système composite. Une telle réaction de fusion laisse l'objet ainsi formé dans un état fortement excité. C'est un système très particulier, dans lequel

une quantité énorme d'énergie est stockée sous forme désordonnée, sous forme de chaleur, que l'on nomme noyau chaud. Dans ce type de noyau, les nucléons sont animés d'une agitation qui se superpose au mouvement lié à leur nature quantique. Ce surcroît d'énergie donne à certains nucléons la possibilité d'explorer des états d'énergie très élevés dans lesquels ils ne sont pratiquement plus liés au noyau. Un noyau chaud est donc par essence un objet instable et cette instabilité est d'autant plus marquée que la température est élevée.

Pour imaginer une agitation thermique des nucléons à l'intérieur de noyau, telle qu'un nucléon puisse être évaporé à la façon des molécules de l'eau qui bout, il faut considérer des températures colossales à notre échelle capables de rompre les liens très forts qui unissent les nucléons entre eux. L'unité de température est le MeV qui correspond à environ dix milliards de degrés, soit dix mille fois plus que la température régnant au cœur du soleil, et avoisinant celle atteinte au cœur des supernovae durant leur effondrement gravitationnel. En laboratoire, les collisions d'ions lourds permettent de réaliser des conditions analogues au moins pendant de très courts instants, environ  $10^{-20}$  s ! De telles échelles de temps sont inaccessibles à la mesure directe. Etudier la désexcitation d'un noyau chaud permet de reconstruire, a posteriori, la façon dont se déroulent les collisions et d'accéder aux propriétés du noyau chaud. Ceci suppose le développement tant d'appareils de mesure adaptés que de théories décrivant la dynamique de collision. Ce n'est qu'au travers de ces filtres expérimentaux et théoriques que l'on peut comprendre les phénomènes physiques fondamentaux qui régissent le comportement des noyaux chauds.

Au delà des propriétés factuelles des noyaux chauds, il s'agit de dresser, comme on le ferait pour un liquide avec sa température d'ébullition ou de solidification à une pression et une densité données, une « carte d'identité » des noyau. De fait, pression, température et densité ne sont pas indépendantes, et la relation qui les lie constitue l'équation d'état du système. Cette équation n'est pas la seule composante de la carte d'identité du noyau. Elle n'en donne en quelque sorte qu'une image statique. Les propriétés dynamiques du noyau, c'est-à-dire la façon dont il évolue durant une collision, sont également fondamentales. On peut par exemple essayer de le caractériser par sa viscosité, comme on le ferait pour un fluide. Rechercher les caractéristiques thermodynamiques des noyaux est essentiel car ces propriétés permettent de décrire leur comportement dans une large gamme de conditions physiques, sur la base d'un petit nombre de caractéristiques globales comme la température. Elles permettent également d'établir des liens avec des systèmes physiques différents mais présentant des comportements macroscopiques similaires. Ce n'est qu'au travers d'études systématiques des noyaux chauds que l'on peut atteindre leurs caractéristiques thermodynamiques.

C'est en exploitant leur caractère instable et éphémère, en recueillant les produits émis en séquence lors de leur désexcitation, que les noyaux chauds sont étudiés. Le

nombre de particules émises et leur fréquence d'émission sont caractéristiques de la température du noyau : plus le noyau est chaud, plus l'émission est importante et rapide. La physique statistique prédit certaines des caractéristiques des produits ainsi émis telles leurs abondances relatives et leurs distributions de vitesse. Il n'existe cependant pas de méthode universelle pour déterminer la température du noyau. Ce n'est qu'en comparant les résultats de différentes approches tant au plan expérimental qu'à celui des modèles théoriques sous-jacents que l'on peut déterminer la température d'un noyau ou d'un ensemble nucléaire. Le détecteur ORION installé au GANIL à la fin des années 80 est un outil précieux pour comprendre ces mécanismes. Les calculs théoriques prédisent que les noyaux ne pourraient être chauffés au-delà d'une certaine température limite, propre à chaque espèce nucléaire. On essaye expérimentalement au GANIL d'atteindre ces températures limites.

Avec l'augmentation continue de l'énergie des faisceaux, des modifications sensibles dans les modes de décroissance des systèmes chauds ainsi formés apparaissent. La cassure en plusieurs fragments massifs devient probable, et le système nucléaire se trouve décomposé en un nombre important de petits noyaux. Le noyau peut-il être à la fois visqueux et cassant ? Un tel changement de comportement rappelle la transition de phase associée à la transformation de l'eau qui bout en vapeur. Mais dans le système nucléaire, les choses sont plus complexes : les noyaux sont des systèmes finis dans lesquels il ne peut donc pas exister à proprement parler de transitions de phase. Il est cependant fondamental de comprendre le mécanisme de production des fragments. Ainsi, l'étude des phénomènes critiques pourrait aider à la compréhension de la multifragmentation. Elle est interprétée comme le résultat d'une compression initiale importante de la matière nucléaire, suivie d'une expansion rapide et irréversible causant la fragmentation violente, en plusieurs noyaux, du système initial. La chambre Nautilus associée à ses 4 multidétecteurs permet de réaliser des expériences dans ce domaine.

Une meilleure compréhension du processus de multifragmentation constitue l'un des défis des années 1990. Le détecteur INDRA, capable de mesurer de façon simultanée les caractéristiques de fragments massifs dans la totalité de l'espace, doit répondre à cet enjeu. Comprendre la multifragmentation suppose également la mise au point de théories dynamiques adaptées. L'expérience acquise dans la description des collisions d'ions lourds constitue une base solide pour ces développements théoriques.

### 3 / Les résonances géantes :

Parmi les excitations du noyau, les résonances géantes tiennent une place particulière puisqu'elles sont la manifestation d'un mouvement collectif de la quasi-totalité des nucléons du noyau. A ce titre leur étude apporte des informations précieuses sur la matière nucléaire et son comportement dynamique. Bien que les plus simples d'entre elles soient connues expérimentalement depuis de nombreuses années, les faibles

sections efficaces de production obtenues par les méthodes classiques d'excitation avec des faisceaux de protons et d'électrons en ont rendu l'étude très difficile. Avec ce type de sonde, ces modes n'apparaissent en effet que comme de légères structures sur un fond important, d'où la difficulté d'extraire le signal réellement associé à la résonance.

Grâce aux faisceaux d'ions lourds du GANIL et au spectromètre SPEG, toutes ces insuffisances sont désormais surmontées. En effet, les premiers résultats sur l'excitation des résonances géantes par diffusion inélastique d'ions lourds ont démontré de façon éclatante que dans ces réactions certaines résonances géantes sont excitées avec des sections efficaces jamais atteintes et que le bruit de fond est très réduit en comparaison des résultats obtenus par d'autres approches. De plus, la grande vitesse des ions incidents permet d'exciter, par interaction coulombienne, non seulement les modes isoscalaires, neutrons et protons en phase, mais également les modes isovectoriels, neutrons et protons en opposition de phase, à haute énergie d'excitation. En jouant sur la nature du projectile et son énergie, il est également possible de sélectionner un type particulier de mouvement collectif. Enfin, les résonances géantes peuvent être excitées par le processus dit d'échange de charge dans lequel un proton du projectile est transféré vers la cible, et simultanément un neutron de la cible est transféré vers le projectile. Ces réactions d'échange de charge permettent ainsi de sélectionner sans ambiguïté les résonances de type isovectoriel.

#### 4 / Production de photons et de pions :

Outre les processus mettant en jeu les nucléons eux-mêmes, les réactions d'ions lourds aux énergies du GANIL peuvent conduire à la production de photons et de pions. L'émission de photons résulte principalement du ralentissement du noyau projectile par le noyau cible. En effet, toute charge subissant une accélération ou une décélération émet une radiation d'intensité proportionnelle au carré de la charge et de l'accélération. Les noyaux en collision n'échappent pas à cette loi. Le rayonnement émis lors de ces collisions peut donc fournir des renseignements sur la dynamique des collisions. Les expériences réalisées au GANIL ont montré que les premières collisions neutron-proton étaient, pour l'essentiel, responsables du rayonnement observé. Les photons de grande énergie permettent de sélectionner ce qui se passe lors des premiers instants de la collision. Ces photons renseignent en particulier sur la distribution des vitesses des nucléons entrant en collision. C'est le multidétecteur TAPS qui est utilisé pour ces recherches.

Pour former un pion, il faut disposer d'une énergie au moins égale à sa masse, 140 MeV soit  $1/7$  de la masse du nucléon, ce qui a priori n'est possible que dans des collisions très énergétiques. On a cependant pu observer des pions dans des réactions à très basses énergies : ces pions ne sont pas formés au cours d'une interaction entre deux nucléons mais résultent de la mise en commun, par l'ensemble des nucléons du noyau,

de l'énergie disponible. Retrouver les modalités d'un tel phénomène collectif est difficile car les pions ainsi formés interagissent très fortement avec les nucléons avant de quitter le noyau.

## 5 / Physique de l'atome et de la matière condensée :

L'interaction d'ions rapides avec des atomes, que ces derniers soient épars comme dans un gaz ou condensés comme dans un solide, se fait de façon dominante par l'intermédiaire des électrons. Comment les électrons sont-ils perdus ou au contraire capturés ou seulement déplacés par rapport à leur position d'origine ? Comment l'énergie cédée aux électrons se dissipe-t-elle dans le solide ? Quels sont les effets induits dans la structure du matériau solide perturbé ? L'étude de l'interaction entre un ion lourd rapide et la matière s'appuie pour répondre à ces questions sur la physique atomique et la physique de la matière condensée.

L'étude de l'édifice électronique entourant le noyau a servi de fondement à la description quantique des systèmes. Afin de pouvoir tester, par l'expérience, les prévisions des théories de la relativité ou de l'électrodynamique quantique rendant compte de la structure atomique ou des collisions entre atomes, on a recours à des systèmes simples : ce sont des ions lourds voire très lourds, à un seul électron ou deux électrons. L'obtention de ces ions est irréalisable par des méthodes classiques de thermoionisation. Il faudrait en effet atteindre des températures de plusieurs centaines de millions de degrés, semblables à celles qui se manifestent dans les plasmas des couronnes solaires ou au cœur des réacteurs nucléaires après fusion des noyaux légers.

Pour arracher les électrons les plus liés des atomes, des ions ayant perdu peu d'électrons sont accélérés à des vitesses supérieures à celles des électrons sur leurs orbites atomiques. Par traversée d'une mince couche de matière, l'épluchage électronique est complété. Ceci est couramment réalisé au GANIL pour les ions tels que le krypton et le xénon. LISE permet alors de trier les ions en fonction de leur état de charge.

L'étude de la capture électronique par les ions krypton de grande vitesse totalement dépouillés de leurs électrons a d'abord permis de mettre en évidence d'importantes différences liées à la nature du milieu traversé, gazeux ou solide. Les atomes du milieu gazeux bombardé révèlent des propriétés intéressantes : dans certaines collisions, les projectiles très chargés et de grande énergie arrachent aux atomes de la cible gazeuse traversée tout ou partie de leurs électrons, en leur communiquant cependant une infime fraction de leur énergie cinétique. Ainsi ont été produits, à partir d'atomes neutres de la cible, des ions très lents. De tels ions multichargés mais froids ont fait l'objet d'études de spectroscopie fine ainsi que de recherches relatives à l'échange de charge lors de la collision entre l'ion et une molécule de gaz. Ceci permet de mieux comprendre le comportement des plasmas de fusion réalisés dans les Tokamaks.

Par ailleurs, la très faible divergence angulaire des faisceaux d'ions secondaires très épiluchés a permis d'aborder de façon originale l'étude des collisions de ces ions avec un gaz dense d'électrons froids. Pour ce faire, le faisceau d'ions est dirigé sur une cible monocristalline préalablement orientée afin de faire coïncider les axes principaux du cristal avec l'axe de propagation du faisceau d'ions. Celui-ci se trouve alors canalisé, à grande distance des rangées d'atomes et de leurs électrons les plus liés. Les interactions électroniques ne peuvent alors se produire qu'avec des électrons de faible vitesse, les moins liés. Ceci permet de simuler le processus inverse, mais impossible à réaliser, et qui consisterait à bombarder les ions hautement chargés, mais au repos, par un faisceau d'électrons monocinétiques.

C'est le CIRIL, implanté sur le site du GANIL, qui gère toutes ces expériences. Depuis l'origine du laboratoire, la physique non nucléaire a connu un essor important, et fait partie intégrante des recherches menées au GANIL. Cette collaboration est une grande réussite pluridisciplinaire.

Le laboratoire GANIL a beaucoup changé en dix ans d'existence. Très prometteur en 1983, il a su confirmer les attentes de la communauté internationale de physique nucléaire. En 1983, il était difficile de prévoir quelle physique serait faite au GANIL. Dix ans plus tard, la situation est bien différente de celle évoquée à la fin des années 70. La physique des noyaux exotiques, thème mineur en 1983, a fait un bond spectaculaire dans l'intérêt que lui portent les physiciens. Désormais, en 1992, tout le laboratoire se tourne vers cette physique avec SISSI et le projet SPIRAL<sup>47</sup>. Les thèmes de recherche que nous venons d'évoquer seront eux aussi approfondis avec des réussites diverses. Le GANIL a également su attirer l'attention des chercheurs par la qualité et la fiabilité de son faisceau. Le secteur accélérateur est véritablement très fier de cette belle réussite. En effet, la fiabilité du faisceau en cours d'expériences dépasse les 90 %, ce qui fait du GANIL le leader dans ce domaine. Le laboratoire, grâce à son directeur Claude Détraz a su écouter les expérimentateurs. Différentes évolutions bénéfiques ont ainsi été réalisées sur l'accélérateur et les dispositifs expérimentaux, comme l'opération augmentation d'énergie et d'intensité, l'installation des sources ECR, l'amélioration de LISE et l'arrivée d'ORION et d'INDRA. Cet ensemble de réalisations concourent à placer le GANIL en 1992 au devant de la scène des accélérateurs de physique nucléaire. Et GANIL va continuer de défendre sa réputation en s'engageant dans de grands projets de modernisation de ces équipements, et en jouant au maximum la carte de la collaboration européenne qui devient un passage obligé tout au long des années 90, tant le coût et le temps de développement des nouveaux équipements représentent des investissements très importants. GANIL saura manœuvrer pour rester à la pointe de la recherche. C'est ce que nous analyserons en dernier lieu.

---

<sup>47</sup> Annexe 59, le projet GANIL PLUS

# **Chapitre 5**

## **Le laboratoire européen**

## *V / GANIL :*

### *Un grand laboratoire européen, 1992-2001*

Nous arrivons ainsi à l'étude de la période très contemporaine de l'histoire du GANIL. Une étude difficile à mener, car nous ne connaissons pas pleinement les résultats concrets des engagements pris durant ces moments, ou alors nous ne les connaissons que partiellement. Nous essayerons donc de nous placer dans une perspective de stricte analyse des faits passés, sans pouvoir nous éclairer des conséquences à moyenne échéance comme nous avons pu le faire pour la première décennie du GANIL.

Cette deuxième décennie du GANIL est donc fondamentalement marquée par la réalisation d'un grand projet initié au début des années 1990 : le projet GANIL Plus dont le projet technique porte le nom de SPIRAL. En effet, après 10 années de recherches fructueuses, se pose la question de l'évolution du laboratoire. Il a ainsi acquis une grande réputation dans le domaine de la recherche des noyaux exotiques, réputation que le projet SISSI est venu étayer. Mais la Direction du GANIL, avec l'accord des organismes de tutelle, décide d'aller plus loin. Non seulement GANIL continuera ses recherches dans différents domaines de la physique nucléaire, mais il se fera une spécialité de la production de noyaux exotiques et surtout de leur accélération grâce à un ensemble qui porte le nom de SPIRAL. Ce grand projet va entraîner de nombreuses modifications au GANIL. La réalisation de l'opération Transport Haute Intensité, dont nous avons déjà parlé, devient nécessaire et urgente ; des travaux importants de génie civil dans le bâtiment machine sont obligatoires ; un effort considérable de conception et de réalisation d'équipements expérimentaux de deuxième génération est à effectuer. De plus, toute un ensemble de rénovations est requis, car en 1995, la majeure partie des équipements a 15 ans, et le taux de pannes commence à augmenter exponentiellement. Il serait en effet inconcevable que cette fiabilité qui fait toute la réputation du GANIL vole en éclats lors de l'entrée en service de SPIRAL en raison d'équipements de transport de faisceau obsolètes. Ce projet concrétisera également l'entrée du GANIL dans une nouvelle dimension européenne, le laboratoire recevant durant ces années le label de grande installation européenne. Le laboratoire va donc évoluer et se spécialiser.

Mais il s'ouvrira encore plus par la même occasion au champ pluridisciplinaire de la physique atomique et la matière condensée, de la radiobiologie, tout ceci grâce à l'implication toujours plus forte du CIRIL dans les programmes de recherches. GANIL veut ainsi garder sa place au sein d'une discipline qui souffre de plus en plus du manque de moyens financiers, alors que les projets nécessitent toujours plus d'engagements. Le

laboratoire et sa Direction sauront alors trouver de nouveaux partenaires, et pourront compter sur ceux de la première heure. Les premiers résultats de SPIRAL en septembre 2001 sont la conclusion en apothéose d'un grand projet initié dix ans plus tôt. Alors replongeons-nous une décennie en arrière à l'origine de ce GANIL 2001 nouvelle génération.

## A / GANIL Plus et SPIRAL : la réalisation des années 90 :

### 1 / Les origines du projet :

Au début des années 1990, la Direction du GANIL décide en concertation avec les physiciens nucléaires et le Comité NuPPEC de préparer l'avenir scientifique du laboratoire à plus long terme en dégagant des axes de recherche qui lui assurent la position de pôle européen de recherche. En mars 1991, le Comité NuPPEC organise donc un atelier sur les perspectives à long terme de la discipline à Ruthin en Grande-Bretagne. Les responsables des principaux laboratoires de physique nucléaire devaient à l'aide de physiciens dégager les grandes orientations de recherche pour la prochaine décennie et préparer la physique nucléaire de l'an 2000. Le GANIL a présenté au cours de cette conférence, qui marque un moment essentiel de l'histoire de la physique nucléaire, un projet de production de faisceaux secondaires qui ouvre une nouvelle frontière en physique nucléaire. En septembre 1991, NuPPEC édite un rapport qui retient la création d'un centre européen de physique avec des faisceaux radioactifs. Comment le GANIL peut-il alors répondre à cette sollicitation forte ?

Tout d'abord, le GANIL possède une sérieuse réputation dans le domaine de la physique des exotiques. Le laboratoire a également acquis une grande expérience dans le domaine de l'accélération des ions lourds et de la production à partir des faisceaux soit de noyaux exotiques soit de faisceaux secondaires, le projet SSSI devant accentuer la capacité du GANIL à en produire. De plus, le terrain est disponible, et la logistique technique et administrative existe. Le GANIL apparaît donc comme le favori en cas de décision de réaliser cet équipement. Mais il ne suffit pas d'être favori pour être choisi. Souvenons-nous de la décision de construire le GANIL à Caen, alors que d'autres sites étaient soi-disant mieux placés dans la course au laboratoire de physique nucléaire des années 1980. Il est donc nécessaire de mobiliser toutes les énergies afin de mettre au point u projet infailible et surpassant toutes les propositions.

Lors du Conseil scientifique de 26 juin 1991, un premier projet d'accélération de faisceaux secondaires est présenté aux membres<sup>1</sup> par M. Chabert. Il recommande l'utilisation d'un troisième cyclotron qui accélérerait le faisceau secondaire après sa fabrication grâce au procédé classique de l'envoi du faisceau sur une cible et du tri des ions grâce à un ensemble de spectrométrie, puis par un passage dans une source ECR

spécialement conçue pour l'occasion et dans un cyclotron compact injecteur<sup>2</sup>. Il est en outre précisé que cette opération demandera la réalisation en parallèle de l'opération THI indispensable pour adapter l'ensemble accélérateur aux intensités à atteindre pour obtenir un faisceau secondaire, car pour créer un noyau secondaire, il faut en moyenne un million d'ions incidents. Ce premier avant-projet présenté à la conférence Ruthin marque le début de l'aventure SPIRAL.

Cette proposition n'est pas la seule émise. En parallèle du projet de post-accélérateur type cyclotron, il existe également la possibilité de mettre en place une solution linéaire<sup>3</sup> utilisant la supraconductivité. Mais cette solution sera abandonnée très rapidement en raison de la longueur des études nécessaires, tout particulièrement dans le domaine des composants supraconducteurs et surtout de son coût élevé. En effet, cette solution table sur un budget qui avoisinent les 300 millions de francs, alors que la solution cyclotron est estimée à 125 millions<sup>4</sup>.

Lors du Conseil scientifique du 10 décembre 1992, il est fait état de l'organisation des groupes de projet qui travaillent sur GANIL PLUS. Il existe ainsi un groupe d'évaluations des performances qui regroupe les physiciens qui avaient défini la physique accessible à ce type de machine. Ce groupe s'appuie également sur les différents groupes techniques qui existent au GANIL et qui travaillent sur les questions de théorie et de modélisation, sur les diagnostics de faisceau et sur les nouveaux systèmes HF. En outre, il existe un important effort de coordination avec le groupe responsable du projet THI, qui a d'ailleurs décidé d'installer un regroupeur R2 situé après l'éplucheur afin de satisfaire à la norme d'intensité prédéfini. Il est également créé un groupe de suivi de projet constitué d'experts extérieurs et qui donne un avis à la Direction du GANIL sur les axes retenus par les ingénieurs et physiciens du GANIL. Enfin, tous les travaux s'appuient également sur des collaborations avec d'autres laboratoires, notamment avec le groupe d'Orsay. Une deuxième version de l'implantation de la future ligne de production est par ailleurs donnée, très proche de la solution retenue<sup>5</sup>. L'objectif de ces différents groupes est la publication en 1993 d'un rapport exposant d'une part les axes de recherches avec les faisceaux secondaires et d'autre part les choix techniques proposés afin de créer puis d'accélérer ces faisceaux secondaires.

Ce projet replace alors le GANIL dans une situation proche de celle vécue 18 ans plus tôt lorsque Marc Lefort et Marcel Gouttefangeas présentaient le second « livre bleu ». En effet, c'est une nouvelle fois la vie du laboratoire qui se joue à ce moment. Dès le début des années 90, la recherche fondamentale est touchée par de sévères restrictions budgétaires. Le spectre des fermetures de laboratoires refait son apparition

---

<sup>1</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 26 juin 1991, Documentation GANIL

<sup>2</sup> Annexe 60, schéma de l'installation.

<sup>3</sup> Annexe 61, schéma de l'installation linéaire

<sup>4</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 1<sup>er</sup> avril 1992, Documentation GANIL

<sup>5</sup> Annexe 62, implantation de l'ensemble accélérateur.

comme au milieu des années 1970. Mais cette fois, le GANIL se retrouve dans la situation de ses adversaires d'hier : il est possible que les organismes de tutelle fassent le choix de dissoudre le GIE et de fermer le laboratoire. En effet, le renouvellement de nombreux équipements est nécessaire. Des économies substantielles pourraient ainsi être réalisées. La situation générale de la recherche fondamentale est ici un facteur essentiel. Le CNRS, au début des années 90, essaye de limiter l'autonomie financière autrefois concédée à l'IN2P3. D'un autre côté, Philippe Rouvillois, Administrateur général du CEA, décide en 1990 de réorganiser le Commissariat sous la forme de cinq nouvelles directions. Parmi ces directions, c'est la DSM, la Direction des Sciences de la Matière, qui remplace l'IRF, tout bonnement supprimé, dans son rôle d'organisme de tutelle du GANIL aux côtés de l'IN2P3. Dans ce contexte de réorganisation, l'IN2P3 pourrait bien subir le même sort. Nous voyons donc bien que la situation est complexe : d'une part, un effort de restructuration de la recherche fondamentale est engagé, et d'autre part, de nécessaires économies sur les budgets de fonctionnement et sur les projets doivent être faites pour assurer la continuité de la recherche fondamentale en physique nucléaire. Au milieu de cet imbroglio, il existe ce projet SPIRAL fortement recommandé par NuPPEC et la communauté internationale de physique nucléaire. La direction de l'IN2P3 comprend très vite que ce projet peut lui donner une nouvelle dimension de légitimité auprès du CNRS par sa capacité à mener une entreprise de dimension internationale, et permettrait en parallèle à la nouvelle DSM de prouver sa capacité à gérer cette branche de la recherche fondamentale en concertation avec les autres acteurs de cette physique. Les physiciens comprennent également le rôle important qu'ils ont à jouer dans ce projet. La réalisation du GANIL a été menée pour l'essentiel par des ingénieurs CEA et CNRS, les physiciens ne donnant leur avis que sur les performances de l'accélérateur nécessaires pour aborder de nouveaux thèmes en physique nucléaire. Cette fois, ils décident de totalement s'intégrer au projet, et cette nouvelle machine sera cette fois leur réalisation aux côtés des ingénieurs. Le premier résultat de cet engagement est la publication en juillet 1993 du rapport *GANIL PLUS, Axes de recherches avec les faisceaux secondaires et projet technique*.

## 2 / GANIL PLUS : un projet abouti :

Le rapport publié en juillet 1993 marque l'instant de non-retour du projet. En effet, la solution technique est prête et la communauté internationale attend la décision de construire cet accélérateur de faisceaux secondaires<sup>6</sup>. Si le rapport ne convient pas aux organismes de tutelle, le projet du GANIL pourrait tomber aux oubliettes puis être repris par un laboratoire concurrent. La première bonne nouvelle est que le programme Capital Humain et Mobilité de l'Union européenne vient en juin 1993 de reconnaître le GANIL

---

<sup>6</sup> *GANIL PLUS, Axes de recherches avec les faisceaux secondaires et projet technique*, GANIL, juillet 1993, 144 p., Documentation GANIL

comme grande installation européenne, label qui doit apporter au laboratoire une subvention de 700 000 écus après la signature de l'accord prévu en 1994. De plus, ce label permet au GANIL d'être envisagé comme un laboratoire européen pour les utilisateurs de faisceaux radioactifs. Le projet GANIL PLUS bénéficie ainsi d'une priorité élevée. Le soutien de NuPPEC et celui de l'Europe vont s'avérer déterminant dans la décision finale.

La physique concernée par l'accélération des noyaux exotiques représente également un point important quant à la décision finale de réalisation du projet. Il suscite un grand enthousiasme dans la communauté des physiciens nucléaires. En effet, la possibilité d'accélérer ces noyaux ouvre un développement majeur en physique nucléaire en offrant un nombre de situations nouvelles pour l'étude de la structure et des réactions nucléaires grâce aux mesures de masse, de radioactivité, pour l'étude des noyaux lourds riches en neutrons, pour la synthèse des noyaux très lourds et superlourds et pour l'étude des nouveaux modes de décroissance. Leur disponibilité doit également permettre des avancées dans les domaines voisins de l'astrophysique et de la physique de la matière condensée<sup>7</sup>. Les physiciens sont en général impatients de voir le projet SPIRAL entrer en fonctionnement.

Le projet GANIL PLUS comporte deux parties indépendantes. La première consiste à assurer le transport de faisceaux très intenses produits par l'injecteur Co1 jusque dans la ligne de faisceau L3 en aval de CSS2 : c'est l'opération THI, Transport de Hautes Intensités. La seconde, qui porte le nom SPIRAL, Séparateur et Post-Accélérateur d'Ions Radioactifs produits en Ligne, consiste à collecter et à ioniser les atomes radioactifs produits par interaction du faisceau primaire intense du GANIL sur une cible épaisse, puis à les trier, à les postaccélérer, enfin, à les réinjecter dans le spectromètre qui précède la ligne de distribution du faisceau vers les aires d'expériences. Analysons donc plus en détail ces deux parties du projet.

### a / L'opération THI :

En 1993, GANIL produit des faisceaux dont l'intensité peut atteindre  $2 \times 10^{12}$  pps pour les ions légers. La combinaison de la nouvelle source ECR 4 fonctionnant à 14,5 GHz et d'une plate-forme d'injection portée à 100 kV autorise non seulement l'accélération d'intensités plus élevées, mais aussi un rendement de transmission notablement amélioré entre cette source et la sortie de l'injecteur. Cette potentialité entraîne la nécessité d'adapter l'ensemble des accélérateurs à de fortes puissances de faisceau, tant du point de vue du réglage que de celui de la protection et de la sûreté de l'installation. Cette opération se décompose en deux phases d'égale importance financière : l'installation d'un regroupeur R2 dans la ligne de faisceau L2, qui conduit le

---

<sup>7</sup> GANIL PLUS, *Axes de recherches avec les faisceaux secondaires et projet technique*, pp. 11 à 41

faisceau de CSS1 à CSS2, et l'adaptation de toute la machine au fonctionnement à haute intensité<sup>8</sup>.

Un regroupeur à moyenne énergie sera installé sur la ligne L2 de façon à réduire l'extension en phase des paquets du faisceau. Ceci aura pour effet d'augmenter le facteur de transmission de CSS2 qui approchera 100 % pour les faisceaux intenses d'ions légers. Ce regroupeur sera constitué d'une cavité résonante avec deux intervalles accélérateurs fonctionnant dans la plage de fréquence 27 à 56 MHz. L'opération demande par ailleurs diverses modifications sur l'accélérateur, comme un réducteur d'intensité placé près de la source, une intelligence rapide à développer pour les diagnostics de faisceau, un blindage thermique interne, une modification du système d'éjection de Co1, un contrôle en ligne de certaines alimentations de courant ou de tension, et le développement de logiciels d'automatisation des réglages, d'optimisation et de gestion des pertes de faisceau, toutes ces modifications étant nécessaires pour assurer la stabilité et la fiabilité des faisceaux de forte intensité. De plus, le blindage doit être renforcé dans certaines zones de la salle CSS2, et un système de démontage, de manutention et de stockage qui assure la protection optimale du personnel doit être mis au point afin de satisfaire aux normes de sécurité dont le SPR est responsable. Enfin il est nécessaire de réaliser des études sur la durée de vie des feuilles d'épluchage et surtout de rendre la feuille mobile afin d'accroître la surface totale irradiée, la durée de vie des feuilles ne semblant pas liée à l'échauffement mais bien à des modifications de structure du graphite.

Selon le planning de réalisation, l'objectif est de terminer l'adaptation du GANIL au fonctionnement à haute intensité au début de 1996. C'est le personnel résident du GANIL qui sera mobilisé pour réaliser cette opération, en collaboration pour les études mécaniques et radiofréquences avec l'IPN d'Orsay et le LNS de Saclay, notamment pour le regroupeur R2 et le développement des logiciels d'optimisation et de gestion des pertes de faisceau. Quant au financement, il représente la somme de 14,5 millions de francs sur 3 ans, avec une subvention de 1,8 millions du Conseil régional de Basse-Normandie<sup>9</sup>.

### b / Le projet SPIRAL :

Les choix fondamentaux relatifs au projet SPIRAL résultent de l'adéquation entre ce dont on dispose au GANIL, à savoir des faisceaux d'ions lourds intenses et d'énergie élevée, des aires expérimentales parfaitement équipées, des équipes techniques ayant une grande expérience des sources ECR et des cyclotrons, et des demandes formulées par les expérimentateurs.

---

<sup>8</sup> GANIL PLUS, *Axes de recherches avec les faisceaux secondaires et projet technique*, p.45

<sup>9</sup> GANIL PLUS, *Axes de recherches avec les faisceaux secondaires et projet technique*, p.48

La méthode de production est la suivante : les éléments radioactifs sont issus des interactions, au sein d'une cible épaisse chauffée à haute température, de 1500 à 2000°C, entre les noyaux de cette cible et les ions d'un faisceau primaire, délivré par le GANIL. Ils sont produits sous forme d'atomes qui diffusent hors de la cible. Les atomes sont ensuite introduits puis ionisés dans une source à résonance cyclotronique d'électrons, une source ECR, adaptée à cette fonction et à son environnement particulier. Les degrés d'ionisation élevés que permet d'atteindre ce type de source ont une incidence directe sur le type et la taille du postaccélérateur. L'une des principales difficultés de ce projet réside dans la grande variété des éléments et de leurs isotopes produits simultanément et dans le fait que l'intensité du faisceau recherché sera de quatre à cinq ordres de grandeur inférieure à celle des faisceaux réglés habituellement au GANIL.

En ce qui concerne le postaccélérateur, le choix d'un cyclotron compact a été retenu. En effet, les valeurs élevées des rapports charge-masse des ions issus d'une source ECR autorisent l'utilisation d'un cyclotron dont l'énergie de sortie est proportionnelle au carré du rapport charge-masse. De plus, les gammes d'ions et d'énergies souhaitées par les expérimentateurs sont caractéristiques d'un cyclotron compact, les qualités de faisceau requises étant, elles aussi, bien satisfaites par ce type d'accélérateur. Signalons également qu'un cyclotron est, par essence, un puissant analyseur de masse : il fournira des faisceaux relativement purs, qualité essentielle en physique des ions radioactifs. En outre, les connaissances approfondies des équipes techniques du GANIL pour la conception, la construction et l'exploitation de cyclotrons, devraient permettre le raccourcissement des délais de réalisation et de mise en fonctionnement. Enfin, le cyclotron est, eu égard aux caractéristiques des faisceaux définies pour ce projet, le type d'accélérateur le moins onéreux. Le fait qu'il soit de plus possible de l'insérer, avec tous les autres équipements du projet, à l'intérieur des limites du bâtiment actuel va naturellement dans le même sens.

Pour ce qui est de l'utilisation du faisceau postaccélééré, il pourra être distribué vers toutes les salles expérimentales actuelles et n'implique donc à ce niveau aucun investissement spécifique. La réalisation de ce projet n'entraînera quant à elle aucune modification du fonctionnement actuel du GANIL. Seule une courte intervention sera nécessaire au niveau du spectromètre en alpha à haute énergie de la machine pour choisir entre les deux modes de fonctionnement possibles : ions stables classiques ou ions radioactifs. Le schéma d'implantation de l'ensemble est pratiquement définitif : l'implantation 2001 est très proche du plan d'ensemble<sup>10</sup>.

Rentrons maintenant dans les détails du projet. L'implantation d'ensemble, en extrémité nord du bâtiment machine actuel, a été conçue de manière à ne pas entraîner de modification des superstructures de ce bâtiment. Par ailleurs, le projet SPIRAL est pour l'essentiel constitué :

---

<sup>10</sup> Annexe 63, schémas d'implantation du projet SPIRAL, sous-sol et rez-de-chaussée

- ↳ D'une casemate en sous-sol abritant l'ensemble cible-source et vers laquelle sera prolongée la ligne de faisceau à haute énergie L3 du GANIL. Cette casemate sera équipée d'outils automatisés permettant le démontage et la manutention de pièces activées comme les cibles et la chambre à vide de sources d'ions.
- ↳ D'une ligne de faisceau à très basse énergie, la TBE, se composant d'un spectromètre assurant un premier tri entre les isotopes produits et se divisant ensuite en deux branches conduisant le faisceau, l'une vers les utilisateurs à cette énergie via un spectromètre à haute résolution, qui n'est pas inclus dans la première phase du projet, l'autre vers le postaccélérateur.
- ↳ D'un postaccélérateur qui sera un cyclotron compact CIME, Cyclotron d'Ions à Moyenne Energie, communiquant aux ions radioactifs une énergie qui dépend de leur masse atomique et de leur état d'ionisation.
- ↳ D'une ligne de faisceau à moyenne énergie conduisant le faisceau extrait du cyclotron au point objet du spectromètre en alpha existant qui sera modifié en conséquence de façon à lui conserver son entière compatibilité avec le fonctionnement du GANIL.

Les spécificités techniques du projet établies, passons maintenant au planning et au budget. Entre le début des études de faisabilité et la fourniture du faisceau pour la physique, il est prévu 4 années complètes<sup>11</sup>. Pour ce qui est du personnel et dans l'hypothèse d'une équipe resserrée, travaillant à plein temps et réunie en un lieu unique, le projet nécessite environ 60 ingénieurs et 80 techniciens par an. Malheureusement, le GANIL doit faire face à d'autres projets dont nous avons déjà parlé ou dont nous parlerons plus tard, comme l'OAI, INDRA, SISSI, THI et surtout les rénovations d'équipements machine. Il y a de plus la charge parallèle importante qu'entraîne le maintien en exploitation du GANIL dont la qualité de fonctionnement ne doit évidemment pas se détériorer. Il semble dans ces conditions impossible de dégager du GANIL le personnel nécessaire à la réalisation d'un projet de l'envergure de SPIRAL. Le laboratoire demande donc aux laboratoires du CEA et de l'IN2P3 d'offrir leur collaboration afin de mener à bien le projet. Enfin, la première estimation du coût du projet hors frais de main d'œuvre avoisine les 120 millions de francs. Le projet est maintenant dans l'attente de la décision de financement<sup>12</sup>. Cette décision va intervenir en octobre 1993. L'avenir du GANIL dépend à ce moment de la réussite du projet SPIRAL. La réussite sera-t-elle au rendez-vous ?

<sup>11</sup> Annexe 64, planning du projet SPIRAL

<sup>12</sup> GANIL PLUS, Axes de recherches avec les faisceaux secondaires et projet technique, p.59

### 3 / SPIRAL : une réalité :

Le 12 octobre, Robert Aymar, Directeur de la DSM, Claude Détraz, Directeur de l'IN2P3 et René Garrec, président du Conseil régional de Basse-Normandie signe un accord pour le lancement de l'opération GANIL PLUS. L'accord stipule que chaque partenaire participera pour 1/3 au financement du projet estimé à 120 millions de francs. La période de construction doit s'étendre de 1994 à 1998. L'implication de la Région Basse-Normandie est très importante financièrement et psychologiquement. Partenaire de la première heure avec une dotation globale de près de 30 millions de francs au total au début des années 80, la Région s'investit une nouvelle fois afin de promouvoir la recherche dans l'Ouest de la France. Il faut ici être très clair : sans la participation du Conseil Régional, il aurait été très difficile de financer le projet. René Garrec a très bien compris l'enjeu important du projet : l'avenir du GANIL était à ce moment dans la balance, et donc par extension l'avenir de la recherche en Basse-Normandie. Le GANIL a en effet permis de structurer un pôle scientifique fort à Caen, qui a un impact sur toute la production scientifique de la région. La fermeture du GANIL représenterait alors un grave traumatisme. C'est une manière de remercier le GANIL de son pouvoir d'attraction fort.

Différentes structures sont alors mises en place autour du projet. Tout d'abord, un Comité scientifique international composé de douze physiciens européens est constitué autour de Ben Mottelson, professeur à l'Université de Copenhague et Prix Nobel de Physique, qui a accepté de le présider. Les objectifs de ce Comité sont de suivre les progrès du projet et de réfléchir aux orientations techniques et scientifiques, de proposer des orientations scientifiques encourageant l'apparition d'une communauté européenne et internationale d'utilisateurs, de structurer cette communauté d'utilisateurs européens, de définir les nouveaux équipements expérimentaux nécessaires et de favoriser la mise en place dans ce domaine de différentes collaborations. De plus, un Comité de suivi technique dépendant du Comité scientifique et composé de six experts en technologie d'accélérateurs et de production de faisceaux radioactifs est également formé. Enfin, rappelons que la maîtrise d'œuvre est confiée au GANIL sous la responsabilité du Comité de Direction, du groupe de direction du projet et du Chef de projet, Marcel Lieuvin. Le GANIL peut ainsi, sur proposition du responsable de projet, déléguer tout ou partie de la réalisation à d'autres laboratoires français ou étrangers. Ainsi, dès sa conception, des relations de partenariat sont établies avec plusieurs laboratoires afin de réaliser les divers éléments du projet : le système source-cible en collaboration principale avec l'IPN d'Orsay et l'aide de UCL/Louvain et ISOLDE/CERN, le cyclotron CIME post-accélérateur avec l'IPN d'Orsay, les lignes de faisceau avec le Laboratoire National Saturne, le LNS et le Département d'Astrophysique, de Physique Nucléaire et de l'Instrumentation Associée, le DAPNIA, de Saclay, et le génie civil avec le CEA<sup>13</sup>.

---

<sup>13</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 10 décembre 1993, Documentation GANIL

#### 4 / L'opération THI en œuvre :

Ce projet dont le financement a été décidé en décembre 1992 par le Comité de direction consiste, rappelons-le, à construire un regroupeur R2 et de l'installer sur la ligne L2, et d'adapter l'accélérateur aux fortes intensités. L'objectif à atteindre est d'avoir terminé l'adaptation du GANIL au début de 1996, date d'arrivée du regroupeur. En 1994 et 1995, les études et les tests sur l'amplificateur et le résonateur de R2, et sur les capteurs de réglage, de surveillance, les chambres à vide et l'éplucheur de l'ensemble accélérateur se poursuivent. Mais le planning est très rapidement retardé par le manque de personnel qui doit également s'occuper du projet SPIRAL et du fonctionnement normal de l'accélérateur<sup>14</sup>. De plus, malgré tous les efforts entrepris par le secteur exploitation, et après la mise en service du regroupeur R2 en 1998, les ingénieurs et les techniciens font le constat suivant : il a été impossible de fournir un faisceau de 6 kW comme prévu, la limitation se trouvant aux alentours de 2,7 kW. L'objectif à atteindre devient donc la nécessité absolue d'obtenir un faisceau stable de 2 kW sur une longue période de temps tout en préparant une cible adéquate pour SPIRAL. Il faut également effectuer une série de tests concernant un effet possible de charge d'espace longitudinal, et commencer le contrôle de la dynamique dans l'injecteur Co1, de l'injection à l'extraction. Les études se poursuivent donc et les efforts sont récompensés en avril 1999. L'ensemble étant opérationnel, le faisceau d'argon 36, le plus difficile qui soit à été choisi pour les tests. Des essais répétés ont montré que le GANIL est capable de maintenir plus de 2 kW d'un tel faisceau pendant plusieurs dizaines d'heures et qu'il existe à ce moment une limite vers 2,8 kW à l'éjection de CSS2. Néanmoins, ce faisceau d'argon de 2 kW est d'ores et déjà utilisable pour produire des ions exotiques à partir de la cible de SPIRAL. Par la suite, en raison d'une demande importante, un faisceau de carbone 12 a été demandé, la fragmentation de ce projectile donnant naissance à des variétés exotiques très intéressantes de l'hélium. Un premier faisceau a donc été produit fin avril à une puissance de 2 kW pendant environ 13 heures, puis 2,4 kW pendant une durée équivalente. Le but ultime de l'opération constitue un record mondial : pendant quelques dizaines de minutes, un faisceau de  $2 \times 10^{13}$  ions carbone par seconde à une puissance de 3 kW a été maintenu. En parallèle, le SPR a pu réaliser des mesures de radioprotection en vraie grandeur. Ce résultat récompense et honore toutes celles et tous ceux qui ont contribué à ce succès. Mais l'opération ne se termine pas là, car il faut encore à ce moment améliorer la stabilité de tous les composants de l'ensemble accélérateur. Le dispositif est définitivement en place lors de la mise en service de SPIRAL en septembre 2001. C'est une réussite de plus pour le GANIL qui prouve les formidables capacités des ingénieurs et des techniciens du GANIL et de toutes les équipes qui ont collaboré pendant près de 10 ans à ce projet essentiel.

---

<sup>14</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 1<sup>er</sup> décembre 1995, Documentation GANIL

## 5 / 1994-2001 : les différentes phases du projet :

Cette première année du projet est réservée aux pré-consultations et aux appels d'offres sur les principaux postes dont le plus important est le cyclotron CIME. Ainsi, la procédure d'appel d'offres pour la réalisation de l'aimant de 600 tonnes a été lancée immédiatement après avoir reçu l'approbation du projet, et le planning prévoit une livraison et un montage sur site pour février 1996. Pour accueillir le cyclotron et les lignes de faisceau, il faut que les travaux de génie civil soient terminés rapidement. Deux tranches sont ainsi prévues durant l'hiver 1994-1995, tranche qui nécessitera un arrêt d'environ 5 mois, et durant l'hiver 1995-1996 avec la fin des travaux prévue en janvier 1996. C'est l'entreprise RUFA qui est choisie pour réaliser les travaux d'extension dans le bâtiment machine.

Le 1<sup>er</sup> décembre 1994, le premier coup de pioche est donné<sup>15</sup>. Les mois de décembre et janvier sont consacrés à la démolition de l'ancienne dalle de béton réalisée 17 ans plus tôt par la même entreprise, qui va s'apercevoir qu'elle avait fait de l'excellent travail. En effet, le chantier prend dès le début du retard en raison de la très grande difficulté de démolition de la dalle arrière de 1,30 m d'épaisseur. S'ajoute à ce premier problème la présence d'environ 1000 m<sup>3</sup> de sable stabilisé qui s'est révélé être un véritable béton sur lequel la pelleteuse s'est brisée les dents au sens propre du terme. Cette opération a donc nécessité l'action énergique mais polluante de briseurs de radiers hydrauliques. Le programme de construction a également pris du retard en raison des difficultés d'approvisionnement de l'hématite nécessaire à la confection des bétons lourds, l'entreprise ayant modifiée la composition de ses bétons tardivement suite à des essais jugés imparfaits. Le chantier représente ainsi 3500 m<sup>3</sup> de déblais, 650 m<sup>3</sup> de béton dans les radiers, les dalles de fondation, 650 m<sup>3</sup> de béton pour les voiles, les parois verticales, 90 tonnes d'acier, 650 m<sup>3</sup> de béton pour les planchers dont l'épaisseur varie de 0,5 à 1,10 m. Fin mars, c'est la mise en place des portes coulissantes et pivotantes de masses comprises entre 2 tonnes et 35 tonnes. C'est enfin l'agrandissement du bâtiment énergie dont la longueur est augmentée de 12 mètres. Les travaux se terminent le 24 avril 1995 dans les délais prévus. En raison du retard pris au début de l'opération, il a fallu compenser ces aléas en mettant en place une planification extrêmement serrée. Certaines opérations telles que la mise en place des portes ont été programmées pratiquement à l'heure près. Il reste alors à venir d'autres interventions spectaculaires comme la mise en place du cyclotron début 1996. Le travail effectué par RUFA fut d'une rare qualité, à la hauteur de ses premières réalisations sur le site du GANIL<sup>16</sup>. Tout est maintenant prêt à recevoir les différentes pièces du projet SPIRAL.

Durant la seconde moitié de 1995, les travaux et les études se poursuivent. L'aimant, dont la construction a été confiée à CREUSOT-LOIRE Industrie, est en cours de

---

<sup>15</sup> *SPIRAL Actualités*, n°2, mai 1995, Documentation GANIL

<sup>16</sup> Annexe 65, photographies de la construction

réalisation. Les bobines principales sont fabriquées par SIGMAPHI, et les bobines d'isochronisme étudiées en collaboration avec le LPC de Caen sont réalisées par SEF. Ces trois ensembles sont prêts en fin d'année et le montage est prévu pour début 1996. Pour ce qui est de la chambre à vide de CIME, qui dépend étroitement du planning de montage de l'aimant sur le site en janvier 1996, son étude s'est faite au GANIL, et elle a été commandée au début de l'année 1995 à SFAR, à Montchanin, qui est sous-traitant de Creusot-Loire Industrie pour l'usinage de l'aimant. La solution retenue pour le système de pompage est celle des panneaux cryogéniques à l'intérieur de la chambre et l'étude est confiée à l'IPN d'Orsay. L'installation est prévue au GANIL à la fin de 1996. Quant au système d'éjection, l'étude mécanique a été confiée au service du CNRS de Meudon-Bellevue, et la réalisation de certains éléments commence dès juin 1995. Enfin, pour ce qui est des diagnostics, la sonde de mesure de courants, diagnostic classique essentiellement réservé aux ions stables, a été étudiée également par le service des prototypes de Meudon-Bellevue, et les diagnostics plus spécifiques, réservés aux ions exotiques, sont en cours d'étude et leur électronique est confiée au LPC de Caen<sup>17</sup>.

L'année 1996 est marquée par l'arrivée des principaux éléments de CIME. Le 25 avril 1996, un premier convoi exceptionnel pénètre dans l'enceinte du GANIL, livrant un pôle, les secteurs polaires, et la chambre à vide de CIME. Un deuxième convoi a moins de chance : à quelques kilomètres de l'usine, un pôle de 3,5 m de diamètre et de 30 tonnes tombent du camion, obligeant un retour en usine. Le 7 mai 1996, le plan « A » défini par les 4 éléments de culasse inférieure recevant le pôle est aligné. C'est un travail de grande habileté car il faut agir sur 12 vérins mouvant des pièces de 50 tonnes pour une planéité exigée de moins d'un millimètre sur toute la surface. Le 21 mai, le pôle inférieur équipé des ses secteurs et de ses bobines de correction vient prendre place sur le plan « A ». La moitié de l'aimant est ainsi montée. En parallèle, une opération d'importance occupe le personnel, celle du nettoyage de la chambre à vide. Elle est en place le 23 mai. Après une semaine d'essais d'étanchéité qui se révèlent concluants, le feu vert est donné pour la fin du montage. Le 25 juin, le montage du pôle supérieur, de la bobine supérieure et des culasses supérieures vient fermer définitivement le cyclotron<sup>18</sup>. Et les 3 et 4 juillet 1996, jour historique pour SPIRAL, la recette de l'aimant est officiellement prononcée en présence des constructeurs.

L'année 1997 est l'aboutissement des études sur les lignes de faisceau par la réalisation et le montage des lignes Haute Energie, Moyenne Energie<sup>19</sup>. Ces opérations sont délicates puisque le transport de faisceau passe du rez-de-chaussée au sous-sol, une fosse ayant été aménagée pour accueillir les différents éléments. Dès l'arrêt d'hiver de 1996-1997, le montage de la ligne haute commence et les bâtis sont mis en place. Le montage reprend fin juillet pendant le second arrêt machine. Les deux premières

---

<sup>17</sup> *SPIRAL Actualités*, n°4, juillet 1996, Documentation GANIL

<sup>18</sup> Annexe 66, CIME en place

<sup>19</sup> Annexe 67, photographies des lignes

semaines sont utilisées pour contrôler la géométrie des pôles de chaque dipôle, L4D11 et L4D12, et pour mettre en place les boîtes à vide. La troisième semaine, c'est L4D11 qui est fixé sur son support. Le mercredi 20 août marque la mise en place de L4D11 et L4D12 sur leurs supports définitifs et du triplet central. Les deux semaines suivantes sont consacrées à l'alignement, opération très délicate qui demande un grand savoir-faire de la part des géomètres, la tolérance étant de l'ordre de moins d'un millimètre ! La fin du mois de septembre est réservée à la mise en place de l'aimant de balayage circulaire qui permet au faisceau de chauffer la cible de manière homogène, et à la mise en place du support de la partie de la ligne Moyenne Energie située sur la fosse. Il faut signaler également que le chantier des résonateurs est terminé, les 2 éléments étant montés en septembre 1997. La fin de l'année est occupée par les opérations de mise en fonctionnement de CIME par raccordement aux fluides et à l'énergie. La conclusion de cette année en forme de cadeau de Noël est l'accélération en décembre du premier faisceau stable<sup>20</sup>.

En 1998, on procède à l'installation de la source et de la casemate, ainsi que de la ligne d'injection dans CIME. Un arrêt de 4 mois de l'accélérateur est utilisé pour ces opérations. On complète également le ligne Haute Energie qui amène le faisceau du GANIL sur la cible. Le cyclotron CIME étant dans sa situation définitive, c'est l'ensemble de SPIRAL qui approche de sa mise en service. Il reste alors à terminer le bâtiment annexe pour l'entreposage des ensembles cibles/sources<sup>21</sup>, à réaliser les conteneurs pour ces ensembles, comme le chariot de manutention et le stockage des gaz. En effet, pour des raisons de sûreté nucléaire, l'ensemble du démontage et du remplacement des cibles est automatisé. Revenons un instant sur cet ensemble qui fait également l'originalité de SPIRAL.

La casemate reçoit la cible qui arrête complètement le faisceau issu des CSS et qui laisse diffuser des atomes radioactifs en étant chauffée à des températures pouvant atteindre 2300°C. Les cibles utilisées ne contiendront pas de matériaux fissiles. Accolée à la cible, une source d'ions ionise les atomes qui ont diffusé. Cette source, issue de ECR 4 avec quelques modifications et portée à une haute tension continue, permet une première accélération du faisceau. Deux dispositifs appelés *front end haute énergie* (FEHE) et *front end basse énergie* (FEBE) sont placés l'un avant la cible, l'autre après l'extraction des ions de la source. Ils permettent de découpler l'ensemble cible/source des lignes de faisceau. Les gaz produits dans la cible, dont certains peuvent être radioactifs, sont confinés, pompés et entreposés sous surveillance dans des bouteilles afin de permettre leur décroissance radioactive. L'ensemble des opérations permettant le changement de l'ensemble cible/source fait l'objet d'une procédure détaillée. Ces opérations sont téléopérées de manière semi-automatique, chaque étape étant validée par un opérateur. Des automates programmables assurent la sécurité et la sûreté de

---

<sup>20</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 8 juin 1998, Documentation GANIL

<sup>21</sup> Annexe 68, photographie de l'ensemble cible/source

l'ensemble du processus. Ces opérations ne sont autorisées que lorsque les conditions requises sont réunies, en particulier la ventilation de SPIRAL doit être en fonctionnement normal.

Préalablement au retrait de l'ensemble usagé, les circuits d'eau de refroidissement de la cible et de la source sont vidangés par injection d'air sous pression. L'eau de vidange est récupérée dans un ballon muni de seuils de niveau. L'air de chasse est aspiré par le circuit de ventilation. Si une fuite d'eau venait à se produire, l'arrêt du système serait immédiat et l'eau perdue serait recueillie dans un bassin situé sous le châssis support de l'ensemble. Il est ensuite découplé des lignes de faisceau, et la porte lourde de la casemate est ouverte pour que le système de manutention spécifique portée par un bi-rail puisse être introduit dans la casemate pour se saisir de l'ensemble cible/source et le porter dans un conteneur en plomb situé sur un chariot sur rails. Le couvercle de ce conteneur est alors fermé automatiquement mais non verrouillé, et le chariot est déplacé jusqu'à l'aire d'entreposage. Toutes ces opérations sont télécommandées et conformes aux normes de protection radiobiologique.

En novembre 1998, un premier faisceau également stable à une énergie de 10,8 MeV par nucléon est extrait de CIME. La transmission de l'ensemble atteint alors 36 %, ce qui est tout à fait honorable pour un cyclotron compact à partir d'un faisceau continu. Mais comme tenu des intensités requises par le projet SPIRAL, une enquête publique doit être réalisée, et le dossier doit être remis pour avis à la DSIN. Une cellule pour l'enquête est mise en place en juillet 1999. L'enquête publique sur SPIRAL est un succès ; les conclusions du commissaire enquêteur et des autorités locales, le préfet et les maires, ont été très positives, et elles ont été envoyées à la DSIN le 25 mai 2000. La DSIN demande par la suite au GANIL de lui faire parvenir une version mise à jour du Rapport de Sécurité ainsi que du Plan d'Urgence Interne du GANIL pour qu'elle puisse transmettre un dossier complet et à jour à la Commission interministérielle des INB. Grâce au travail acharné de l'équipe SPIRAL, cette version est remise dans les délais souhaités. Notons également qu'une délégation DSIN/DRIRE inspecte le dispositif de manutention des ensembles cibles/sources. Aucune remarque ni réserve importante n'est d'ailleurs formulée par les inspecteurs. Ainsi, on s'aperçoit qu'en raison du retard pris par la mise en place de l'enquête, le projet SPIRAL a environ deux années de retard sur le planning initial de fourniture du faisceau à la physique.

Finalement, après signature par le Premier Ministre, le Ministre de l'Economie, des Finances et de l'Industrie, le Ministre de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et le Secrétaire d'Etat à l'Industrie, du décret de modification de l'INB 113, c'est en septembre 2001 que l'autorisation de fonctionnement est donnée au GANIL. Le 23 septembre, SPIRAL produit son premier faisceau de noyaux exotiques<sup>22</sup>. Il s'agit d'ions de Néon 18 (introuvables sur Terre et dont le noyau a une durée de vie de 1,5 secondes), produits en bombardant une cible de carbone avec un faisceau d'ions

---

<sup>22</sup> Site Internet [www.ganil.fr/user/news/spiral/index.html](http://www.ganil.fr/user/news/spiral/index.html)

stables de Néon 20, accéléré à 1,9 milliards d'électrons-volts. Dans ce tout premier essai, un faisceau de 100.000 ions par seconde est accéléré. Le jeudi 27 septembre 2001, commençait la première expérience avec le tout nouveau faisceau exotique de SPIRAL. Le faisceau produit était donc composé d'un isotope n'existant pas sur Terre : le Néon 18. A 17h00, ce faisceau est entré en collision avec une cible d'hydrogène solide. Le dispositif expérimental était prêt pour observer ces collisions d'un genre nouveau. Moins d'une semaine plus tard le pari était gagné, le Sodium 19, noyau miroir de l'Oxygène 19, dévoilait sa structure. C'est une grande réussite pour le GANIL et sa Direction. C'est aussi la fin de la réalisation du grand projet GANIL des années 90. Le laboratoire se trouve désormais à la place de leader mondial dans le domaine de l'accélération des faisceaux d'exotiques et des recherches qui en découlent. Mais le GANIL ne s'est pas contenté durant ces années de promouvoir le projet SPIRAL. Il existe également une grande volonté de faire évoluer l'accélérateur afin de le rendre toujours plus fiable et de fournir une durée de temps de faisceau toujours plus conséquente. Les dispositifs expérimentaux vont également évoluer, et l'action pluridisciplinaire va se renforcer. Enfin, les thèmes de physique vont évoluer, et les découvertes au GANIL vont se multiplier. C'est ce que nous verrons maintenant.

## B / Evolution de l'accélérateur et des dispositifs expérimentaux :

### 1 / L'accélérateur 1993-2001 :

En 1993, pour 5413 heures de fonctionnement, le faisceau a été sur cible pendant 3212 heures<sup>23</sup>. De plus 2142 heures de faisceau ont été fournies à la SME permettant de réaliser 66 expériences. L'année 1993 a été marquée par plusieurs faits. Tout d'abord, SIRa, Séparateur d'Ions Radioactifs, dont nous parlerons dans quelques instants, a été installé en D2. C'est un montage qui a pour but de tester l'ensemble cible/source d'ions pour la production d'ions radioactifs de SPIRAL. La première expérience a eu lieu fin novembre 1993. Ensuite, SISSI, comme nous l'avons déjà vu, a été testé avec succès fin décembre 1993, et définitivement installé en janvier 1994 sur la ligne L3. De plus, la plate-forme 100 kV du projet OAI a délivré un faisceau d'argon 36 pendant deux semaines sans problème majeur pour les expériences de physique. Des études machine à très haute intensité ont également été effectuées avec ce faisceau. Et bien entendu, cette année est l'année de la signature de l'accord pour le lancement de SPIRAL. Au cours de cette année, ce sont également 43 expériences différentes qui se sont déroulées, avec un taux record d'occupation pour LISE avec 37 % et 1340 heures cumulées. Du côté des faisceaux accélérés, le GANIL est en 1993 capable d'accélérer 63 faisceaux différents du carbone à l'uranium.

---

<sup>23</sup> Fonctionnement et études machine 1993, Documentation GANIL

En 1994, ce sont 3770 heures qui sont consacrées à la physique sur 6192 de fonctionnement machine<sup>24</sup>. Ce sont également 1974 heures de faisceau qui ont été fournies à la SME. Au cours de cette année, SISSI a été mis en exploitation et a été utilisé avec quatre faisceaux différents pour produire des ions secondaires. La plateforme 100 kV d'injection d'ions dans Co1 est également entrée en exploitation et a permis de satisfaire à la demande très forte en ions métalliques. Et la fin de l'année a vu la concrétisation du projet SPIRAL par les premiers coups de pioche dans le bâtiment machine. De plus, une étude très intéressante est réalisée sur l'évolution du fonctionnement de l'accélérateur depuis sa mise en service en 1983. On s'aperçoit ainsi que le nombre d'heures de fonctionnement ne cesse de croître, et le nombre d'heures de faisceaux est en constante augmentation. Par contre, les études machine et des essais techniques, comme la mise en route du nouveau système de commande-contrôle ou la mise en route de SISSI, sur 1993 et 1994 pèse lourd sur le planning. Le temps de réglage de l'accélérateur reste encore important, environ 33 heures, soit 19 % du temps de fonctionnement, et surtout, ce qui pose des problèmes sérieux, le vieillissement du matériel entraîne une hausse assez significative du taux de pannes. Par contre, et c'est bien entendu la bonne nouvelle, le nombre de faisceaux accélérés et leurs qualités d'émission, d'énergie et d'intensité sont en nette progression, ce qui donne au GANIL la réputation d'une installation au sein de laquelle la qualité et la fiabilité du faisceau sont exceptionnelles. Nous ne cessons de vanter ces qualités du laboratoire, mais nous ne pouvons faire autrement tant cette réputation est mondialement reconnue et surtout véridique. Au cours de cette année, de nombreuses études sont consacrées à une meilleure mise au point de SISSI, le dispositif s'avérant très intéressant mais aussi fort complexe à manipuler, et les pannes étant assez nombreuses. Enfin, signalons que ce sont 52 expériences qui se sont déroulées en 1994, doublées de 67 expériences sur la SME, les chiffres les plus importants depuis la création du GANIL.

Les années suivantes sont des années de transition. En effet, elles doivent permettre de passer d'une utilisation classique d'accélération d'un faisceau d'ions stables à la fourniture d'ions exotiques avec SISSI et SPIRAL. Comme nous l'avons vu, cette volonté se traduit par la mise en œuvre du projet THI, qui correspond à une augmentation d'un facteur 15 de l'intensité et à une puissance de faisceau pouvant atteindre 6 kW. L'année 1995 est ainsi marquée par le début du programme de rénovation qui a pour objectif d'améliorer la fiabilité et les performances de l'accélérateur indispensables à une utilisation efficace de SISSI et SPIRAL, et qui représente la somme de 17 millions de francs. Comme nous l'avons déjà dit, le taux moyen de pannes est en légère augmentation, et le GANIL ne peut se permettre de perdre sa réputation de grande fiabilité du faisceau. SISSI a également nécessité un travail important pour rendre son fonctionnement fiable et efficace, et la construction et les études techniques de SPIRAL continuent en parallèle.

---

<sup>24</sup> Rapport technique des accélérateurs 1994, Documentation GANIL

Pendant ce temps, le faisceau continue d'être distribué aux expériences de physique avec des caractéristiques toujours plus pointues et avec la meilleure disponibilité possible. Dans ce cadre, des efforts très importants ont été faits pour améliorer la maîtrise des sources d'ions en mettant en œuvre de nouvelles méthodes de production d'ions métalliques, pour diminuer les temps de réglage de l'accélérateur, la durée du changement de faisceau étant ainsi passée à moins de 24 heures, et pour améliorer la qualité des réglages, souvent en collaboration avec les physiciens utilisateurs, en particulier pour SISSI. Malheureusement, ce nombre d'opérations obligatoires associées au développement de SPIRAL a nécessité le report des opérations de rénovation de 1996 en 1997, le personnel faisant défaut. Pour ce qui est des heures de fonctionnement, l'accélérateur a fourni un faisceau pendant 1925 heures aux utilisateurs sur 3295 heures de fonctionnement, cette réduction étant la conséquence de l'arrêt de 4 mois pour la réalisation des travaux de génie civil de SPIRAL. En 1996, l'accélérateur a retrouvé un fonctionnement normal avec 3424 heures de production de faisceau pour les utilisateurs sur 5423 heures de fonctionnement<sup>25</sup>.

L'année 1995 est particulièrement marquée par de nombreux incidents et pannes, sur l'alimentation de CSS1, sur le circuit de refroidissement du premier canal magnétique de CSS2, sur l'alimentation de Co2 et sur l'amplificateur de la cavité nord de CSS2. Tous ces problèmes étaient probablement dus au vieillissement des équipements de la machine. C'est pour cette raison que le programme de rénovation est engagé dès 1995. De plus, un incident de sûreté nucléaire se produit le 9 juin 1995. La machine est ainsi arrêtée du 9 juin au 13 juillet à la suite de l'ouverture intempestive des portes de CSS1 alors que le faisceau était présent dans la salle. La machine a redémarré le 13 juillet après l'installation d'un système manuel provisoire, le DMP, de gestion des accès, et autorisation de la Direction de la Sûreté Nucléaires, la DSIN. En conséquence, le faisceau n'a presque pas été à la SME car le DMP considère D1 comme une salle de la machine, ce qui excluait toute entrée dans cette salle. SISSI n'a presque pas fonctionné en 1995, en raison de pannes qui l'ont empêché de fonctionner pendant plus de la moitié de l'année.

En 1996, L'UGS-R, Unité de Gestion des sécurités – Redondant, a été mis en opération le 23 mai après autorisation de la DSIN. Après 6 mois d'utilisation, il apparaît comme très fiable et efficace. Le programme de rénovation donne ses premiers résultats : malgré une hausse des pannes sur les systèmes HF et les alimentations de courant, le taux général a baissé d'1 %, et il ne représente plus que 0,8 panne par jour contre 1,1 en 1995, ce qui est nettement plus intéressant pour la fiabilité des expériences. Malheureusement, faute de personnel, le programme de 1996 est repoussé en 1997. SISSI connaît également deux pannes importantes en 1996, ce qui pose la question suivante : faut-il repenser le fonctionnement et la technologie de SISSI ? Enfin, le projet THI avance doucement, et le secteur exploitation essaye de consacrer le plus de

---

<sup>25</sup> Rapport technique des accélérateurs en opération 1995-1996, Documentation GANIL.

temps possible d'études machine à ce programme très important. Signalons enfin qu'en 1995, 17 expériences ont été réalisées, chiffre très bas en raison de l'arrêt accélérateur du début d'année et de l'incident de sûreté, et 6 expériences sur la SME ont tout de même été mises au point en fin d'année. En 1996, le nombre remonte, mais pas énormément : ce sont 26 expériences qui sont effectuées au GANIL, et 14 sur la SME. Terminons cet aperçu des années 1995-1996 par un nouveau record : fin 1996, ce sont désormais 81 faisceaux différents qui peuvent être accélérés par le GANIL.

Les années 1997-1998 sont également très intéressantes<sup>26</sup>. Elles voient en effet la mise au point et l'utilisation systématique du regroupeur R2 permettant d'obtenir d'excellents rendements d'éjection de CSS2 pour tous les faisceaux. Les études machine ont également continué à occuper une place importante, en particulier du fait de l'opération THI avec les tests d'accélération de fortes intensités, ainsi que de l'instrumentation de faisceau requise, mais aussi pour l'amélioration de la maîtrise des faisceaux secondaires produits par SISSI et des applications de réglage automatiques. Les études techniques, dont le développement de méthodes de production d'ions métalliques, se sont poursuivies à un rythme réduit en raison des travaux de construction de SPIRAL. SISSI a aussi fait peau neuve. Suite à des problèmes répétitifs, la rénovation du système cryogénique a été décidée, et elle a conduit à remplacer le cryogénérateur par un système beaucoup plus simple et robuste. Le projet THI a de même abouti en octobre 1998 à l'accélération d'un faisceau de plus de 2 kW d'argon à une énergie de 95 MeV par nucléon. Malheureusement, le programme de rénovation est encore repoussé en raison des travaux sur SPIRAL et il se poursuit donc à un rythme très lent.

En ce qui concerne son utilisation, l'accélérateur a fonctionné 4205 heures en 1997, pour 2837 heures consacrées à la physique. En 1998, ce sont 4382 heures de fonctionnement qui sont recensées, pour 2976 heures de faisceau pour la physique. Ces chiffres sont inférieurs à ceux par exemple du record de 1994 en raison des différents arrêts engendrés par la mise en place des différents éléments de SPIRAL. Pour ce qui est de 1997, des pannes nombreuses ont également affecté le fonctionnement de l'accélérateur. La situation s'est encore compliquée avec le fonctionnement toujours aléatoire de SISSI, qui a conduit aux modifications dont nous venons de parler. Le regroupeur R2 est pour sa part entré en service, ce qui est une des satisfactions de l'année avec le bon avancement de SPIRAL et de THI. Enfin, des études très intéressantes sur la production de faisceaux métalliques ont permis une plus grande fiabilité dans le fonctionnement et une meilleure stabilité de l'intensité des faisceaux grâce à l'utilisation de la méthode de « sputtering ». L'année 1998 et pour sa part fort similaire à 1997. C'est une année de fonctionnement réduit en raison de l'avancement du projet SPIRAL. Le taux de panne s'est avéré très important puisqu'il représente 11 % du temps de fonctionnement machine. Malgré tout, il existe des sujets de satisfaction,

---

<sup>26</sup> Rapport technique des accélérateurs en opération 1997-1998, Documentation GANIL

en particulier la rénovation complète de la salle de contrôle pour d'une part s'adapter aux nouveaux matériels informatiques présentes depuis 1993 et d'autre part intégrer le commande-contrôle de SPIRAL. Les études machine ont pour la plupart été consacrées au projet THI, dont la mise au point finale du regroupeur R2 est une étape importante. Les modifications sur SISSI ont également porté leurs fruits, puisque le système deuxième génération est devenu opérationnel en fin d'année et que l'ensemble a fonctionné parfaitement ce qui a permis de réaliser plusieurs expériences de physique. Enfin, ce sont au total 18 expériences en 1997 et 17 expériences en 1998 qui ont été réalisées, auxquelles il faut ajouter 14 expériences en 1997 et 11 en 1998 sur la SME.

En 1999, l'accélérateur fonctionne pendant 4717 heures dont 3207 réservées à la physique. Une importante fuite d'eau est détectée sur CSS1, ce qui renforce la nécessité de consacrer du temps et de l'énergie aux travaux de rénovation en 1999 et en 2000. Différents projets voient le jour ou sont étudiés. Nous pouvons les citer : il s'agit des deux détecteurs de deuxième génération dont la construction a été décidée dans le prolongement de SPIRAL, à savoir VAMOS et EXOGAM, mais aussi IRRSUD, LIMBE et LISE 2000. En 2000, la situation est assez proche. L'accélérateur a fonctionné pendant 5426 heures dont 2767 pour les expérimentateurs. Tout au long de l'année, les travaux sur SPIRAL et les aires expérimentales continuent. Le point le plus notable sont les 5 faisceaux de haute intensité qui ont été accélérés pour la production de faisceaux secondaires dans SISSI. Ce dispositif représente en 2000 56 % du temps total programmé pour la physique. A l'heure à laquelle nous écrivons ce mémoire, les chiffres de 2001 ne sont pas encore connus, mais on peut dire qu'ils seront assez proches.

En guise de conclusion sur ces 18 années de fonctionnement de l'accélérateur, nous pourrions rendre un hommage aux hommes et aux femmes qui ont participé jour après jour à la réussite qu'est le GANIL aujourd'hui. Durant toutes ces années, ils ont travaillé pour améliorer toutes les procédures de démarrage et de fonctionnement, pour améliorer les qualités et le nombre de faisceaux disponibles, avec comme objectif de toujours allonger le temps de faisceau réservé aux expérimentateurs. Pour parler chiffres, en 18 ans, l'accélérateur a fonctionné pendant 86214 heures, dont 51996 réservées à l'expérience, ce qui représente une moyenne de disponibilité brute sur 18 ans de 60 %, disponibilité très importante. De plus, sur ces 60 %, l'autonomie réelle avoisine les 90 % sur la période, ce qui est également considérable. Enfin, ce sont plus d'un millier d'expériences qui ont été réalisées durant ces 18 années. Sous cet aspect comme sous les autres, le GANIL est vraiment une grande réussite humaine, car tous les secteurs du laboratoire sont les acteurs de ce remarquable fonctionnement. Si sur le terrain, il existe une certaine division humaine entre les secteurs sur les méthodes de travail, le secteur exploitation répondant plus à une logique de production assez semblable à celle d'une entreprise, alors que les autres secteurs sont plus proches des expérimentateurs et d'une logique à plus longue échéance, il n'en demeure pas moins que tout le personnel du

GANIL se réunit autour d'une idée commune : il faut fournir un faisceau de qualité et des salles d'expérimentations du plus haut degré de fiabilité qui soit. C'est pour cette raison que le GANIL possède la réputation du laboratoire dans lequel aucune expérience n'a échoué, pas au niveau des résultats, mais dans sa mise en œuvre et sa réalisation. C'est vraiment une belle et grande aventure humaine.

## 2 / Les évolutions de LISE :

Si nous devons retenir un équipement du GANIL, ce serait certainement LISE. Nous ne dénigrons pas pour autant les autres dispositifs, mais il faut tout de même signaler que cette ligne a en grande partie contribué à la réputation du GANIL dans la recherche et l'étude des noyaux exotiques. Durant les années 90, LISE va continuer à évoluer pour toujours satisfaire aux demandes des expérimentateurs et aux évolutions de l'accélérateur. En 1993, deux opérations majeures d'amélioration des performances sont programmées<sup>27</sup>. Il s'agit tout d'abord du remplacement du premier dipôle de la ligne en vue de modifier la section Analyse du spectromètre afin d'utiliser la pleine énergie des faisceaux GANIL. L'étude et la réalisation du dipôle sont confiées au GANIL, et la nouvelle chambre est réalisée par l'IPN d'Orsay. cet ensemble est opérationnel en avril 1995. Il semble également nécessaire de construire un ensemble de spectrométrie de masse comprenant un dipôle et une plate-forme verticale : ce projet est accepté et la réalisation est complète en 1994. Suite à la grande demande d'utilisation de LISE, il est nécessaire en 1995 de demander le changement des deux cathodes du filtre de vitesse, le titane remplaçant l'acier inoxydable, en vue d'améliorer la tenue en tension du filtre, le dipôle du spectromètre de masse permettant d'utiliser la tension maximale. Il faut également mettre en place une nouvelle chambre à cible permettant de mettre des détecteurs en coïncidence avec le spectromètre, et d'accepter un porte-cible inclinable afin de modifier graduellement l'épaisseur des cibles, ce qui faciliterait les réglages et en diminuerait le temps, et d'adapter les cibles aux intensités THI. Il est aussi demandé l'implantation d'un mécanisme de ralentisseur achromatique automatisé, et d'une nouvelle supervision du commande-contrôle en raison de la modification du système d'acquisition de données. Ces différents projets sont acceptés, et la ligne prend son aspect définitif courant 1997. LISE, durant toutes ces années, a réussi grâce à des concepteurs comme Rémy Anne à s'adapter à la demande des expérimentateurs dans leur quête des exotiques. C'est cette ligne qui est à l'origine du projet SISSI et par extension du projet SPIRAL. Plus de cent noyaux exotiques ont été découverts sur LISE, et de nombreux ont été étudiés en détail. Qui plus est, LISE est à l'origine de lignes similaires au GSI en Allemagne, à Riken au Japon et à MSU aux Etats-Unis. Ce dispositif est très certainement un des fleurons du GANIL. D'ailleurs, M. Rémy Anne, spécialiste internationalement reconnu dans le domaine des spectromètres et rappelons

---

<sup>27</sup> PV du Conseil scientifique du GANIL du 3 juin 1993, Documentation GANIL

nous le « père » de LISE, reçoit en 1994 pour son action sur LISE le Cristal de CNRS, trophée qui récompense une initiative importante pour la recherche d'un ingénieur, d'un technicien ou d'un personnel administratif.

La dernière évolution qui est plutôt une nouveauté qu'un prolongement, c'est LISE 2000. Chiffre parlant, LISE 2000 permettra l'utilisation d'une plus grande valeur de rigidité pour cette partie de ligne. Physiquement parlant, cela étend les possibilités d'études aux régions des noyaux les plus riches en neutrons pour lesquels on aura un bien meilleur taux, comparables à ceux disponibles par ailleurs, à RIKEN et MSU par exemple pour des faisceaux de noyaux à halo ou possédant une structure en clusters. Ceci permet d'envisager toute une nouvelle gamme d'expériences utilisant les réactions de transfert sur des cibles légères. L'augmentation des performances du spectromètre LISE va permettre également de produire et de mesurer les propriétés, temps de vie, niveaux excités, moment quadripolaire et magnétique, des noyaux riches en neutrons. Ces propriétés jouent un rôle prépondérant dans l'explication d'un processus astrophysique de capture rapide de neutrons. Une autre catégorie d'expériences pour lesquelles le spectromètre LISE 2000 est particulièrement bien adapté concerne l'étude des états isomériques dans les noyaux riches en neutrons loin de la stabilité. Techniquement parlant, les changements proposés sont, d'une part le remplacement des deux premiers quadripôles de LISE, d'autre part la construction de la ligne derrière le deuxième dipôle.

Ce projet, dont Christian Tribouillard est le chef de projet, se décompose en deux phases : une phase d'aménagement et une phase d'installation. La phase d'aménagement consiste à agrandir la salle D4 de plus de 40 m<sup>2</sup>. Cet agrandissement se fait en déplaçant les sas de D4 et D5. Cette opération a commencé le 16 décembre 1999, et 160 m<sup>3</sup> de blocs de béton de toutes tailles ont été manipulés pour obtenir la configuration voulue, de nouveaux blocs ont été fabriqués, et les sas de D4 et D5 ont été démontés et déplacés à leur position définitive. La phase d'installation se produit pendant l'arrêt d'hiver 2000-2001 et la ligne est pratiquement opérationnelle à l'heure qu'il est. Mais l'histoire de LISE n'est pas finie. Elle continue, comme celle du GANIL...

### 3 / SIRa : Séparateur d'Ions Radioactifs :

L'idée d'un prototype de séparateur en ligne voit le jour au début des années 1990. Lors du Conseil scientifique du 26 juin 1991, il est fait état de la constitution au cours du mois d'avril d'un groupe d'études. Lors du Conseil du 1<sup>er</sup> avril 1992, un planning prévoyant l'entrée en fonctionnement du séparateur pour mars-avril 1992 est présenté. En effet, depuis le début des années 1990, on est capable de produire au GANIL des faisceaux secondaires. Le projet SISSI vient en ligne droite derrière cette réalisation afin d'améliorer les qualités intrinsèques de ces faisceaux. Quant au séparateur, il vient

également en ligne droite derrière cette réussite. Il porte le nom de SIRa et son objectif est de fabriquer des produits radioactifs à partir d'un ensemble cible-source<sup>28</sup>. Ce banc de test des systèmes de production d'ions radioactifs a une importance capitale puisqu'il va permettre de réaliser tous les essais nécessaires à la réalisation de l'ensemble cible/source de SPIRAL. La décision de le réaliser est prise en 1991, et son lieu d'implantation sera la salle D2. Sa réalisation s'étale sur 1992 et 1993, et le premier fonctionnement avec expérience a lieu en novembre 1993. Ce banc d'essais va permettre grâce aux différentes campagnes d'expériences de mettre au point l'ensemble cible/source de SPIRAL, ce point particulier étant très complexe comme nous l'avons déjà vu. Cet équipement sera véritablement déterminant dans la bonne marche du projet SPIRAL.

#### 4 / SISSI et ses mésaventures :

Comme nous l'avons vu plus haut, SISSI connaît de nombreuses pannes de jeunesse, ce qui est très dommageable étant donné que les résultats issus des expériences réalisées avec SISSI sont très intéressants pour l'étude des noyaux exotiques et des faisceaux secondaires, et que cette expérience est indispensable afin de bien maîtriser le processus de création et d'accélération des faisceaux secondaires lors de la mise en service de SPIRAL. Entre juillet et octobre 1997, après les nombreuses pannes de 1996, SISSI permet la réalisation de 6 expériences sur les faisceaux secondaires. Malheureusement, elles sont réalisées pour la plupart dans des conditions précaires, le nombre de pannes restant beaucoup trop important. On décide donc de repenser en partie SISSI. Le système incriminé dans les nombreuses pannes est le cryogénérateur, conçu par le Service des Basses Températures du CEA de Grenoble. Ce prototype qui devait permettre d'atteindre des performances jamais atteintes dans ce domaine s'est malheureusement avéré peu fiable. On réfléchit donc à un nouveau cryogénérateur plus simple<sup>29</sup>. Il est remplacé dans le nouveau système par un réservoir tampon de 160 litres d'hélium liquide qui est rempli régulièrement à partir d'un réservoir de 2000 litres à l'aide d'une ligne de transfert d'hélium. Ce réservoir est lui-même rempli régulièrement par une société fournissant de l'hélium liquide. Le système ne fonctionne donc plus en cercle fermé : l'hélium vaporisé dans SISSI n'est pas récupéré. Ainsi, la consommation est de l'ordre de 5,6 litres par heure auquel il faut ajouter une consommation induite par le dépôt d'énergie que provoque le rayonnement neutronique créé par le faisceau dans la cible de production. Chaque remplissage du réservoir tampon consomme 45 litres pour 120 transférés, une grande partie étant consommée pour refroidir la ligne. Si l'on ajoute les pertes dans le réservoir de 2000 litres lors de son remplissage, on arrive à une consommation de 9 litres par heure. Cette solution est bien le meilleur compromis,

---

<sup>28</sup> Annexe 69, représentation 3D et photographies de SIRa

<sup>29</sup> Rapport technique des accélérateurs en opération 1997-1998, Documentation GANIL

puisque durant les 6 premiers mois d'exploitation suivant septembre 1998, la fiabilité de SISSI est excellente. Et jusqu'à la mise en service de SPIRAL, les expériences se succèdent et l'expérience et les connaissances des physiciens sur les faisceaux secondaires augmentent.

### 5 / VAMOS et EXOGAM :

Nous nous souvenons que le Conseil scientifique international du projet GANIL PLUS avait pour mission de définir les équipements expérimentaux nécessaires aux expériences réalisées grâce aux faisceaux de SPIRAL. Des ateliers de réflexion sont ainsi mis en place dès 1995 afin de réfléchir aux perspectives de la physique avec SPIRAL et aux détecteurs nécessaires à cette physique. Le résultat de ces travaux est présenté devant le Conseil scientifique du 26 mai 1997, et la présentation finale du budget se produit lors du Conseil scientifique du 1<sup>er</sup> décembre 1997. EXOGAM, EXOtic GAMma, donc un multidétecteur gamma, représente un investissement de 34 millions de francs réparti entre la France à 40 %, la Grande-Bretagne à 40 %, et le Danemark, la Finlande, la Suède et la Hongrie à 20 %. Pour la dotation française, l'IN2P3 et la DSM prennent en charge 26,3 %, tandis que la Basse-Normandie, toujours fidèle partenaire, représente 13,3 %. En ce qui concerne le spectromètre VAMOS, Variable Mode Spectrometer, il est estimé à un coût global de 14,4 millions de francs, réparti entre l'Union Européenne pour 3 millions de francs, la France avec 7,8 millions, la Grande-Bretagne avec 2 millions et le GSI de Darmstadt pour 1,6 millions, qui aura ainsi la possibilité d'utiliser le spectromètre. Le total des deux projets se monte donc à 48 millions de francs, avec une dotation venant de l'étranger qui représente 56,5 % du coût total ! Nous nous apercevons ainsi de la profonde mutation que subit le GANIL avec ce grand projet SPIRAL. Il devient un véritable laboratoire européen, et sa dimension nationale première est complètement dépassée. C'est une des forces du GANIL : le laboratoire sait parfaitement s'adapter à l'évolution des thèmes de physique, mais parvient également à trouver sa place dans la nouvelle organisation européenne de la recherche qui ne laisse aucune place à l'isolationnisme, tant les projets nouveaux nécessitent une collaboration et des soutiens financiers très larges. C'est une grande réussite de plus.

Techniquement parlant, EXOGAM est un puissant spectromètre gamma de grande efficacité dédié à la spectroscopie nucléaire des noyaux exotiques issus de SPIRAL. Notre compréhension du noyau et de ses interactions provient pour l'essentiel de ce que nous avons appris au voisinage de la vallée de stabilité. Cette connaissance concerne les propriétés des états fondamentaux des noyaux stables et de leurs premiers états excités ainsi que l'évolution de leurs modes d'excitation en fonction soit de leur moment angulaire soit de leur énergie d'excitation. Les modèles microscopiques utilisant des interactions effectives ajustées sur quelques noyaux magiques stables permettent une

description satisfaisante des propriétés observées pour les noyaux autour de la stabilité. La question fondamentale qui est posée et qui constitue l'objectif principal des études qui seront faites sur les noyaux très exotiques est celle de la validité de ces théories en les testant loin de la stabilité. Les faisceaux radioactifs de SPIRAL vont ainsi nous permettre d'étudier la structure nucléaire de noyaux jusqu'alors inconnus (car non synthétisable avec des faisceaux stables). Afin de traquer ces événements d'une grande rareté, l'efficacité de détection devient une priorité. EXOGAM<sup>30</sup>, spectromètre gamma, aura une efficacité photopique inégalée pour un multidétecteur gamma de ce type : 20%. La deuxième qualité de ce détecteur est sa capacité à bien mesurer, grâce à sa forte segmentation (ses 16 détecteurs clover composite segmenté), le rayonnement gamma qu'émettent les noyaux étudiés et qui très souvent seront produits à grande vitesse. La troisième qualité de ce détecteur est, grâce à sa conception originale, sa capacité à s'affranchir du bruit de fond radioactif induit. Toutes ces qualités font d'EXOGAM un détecteur dédié à la spectroscopie auprès de faisceaux radioactifs.

Sa réalisation a commencé dès 1998 et se poursuit encore aujourd'hui. La structure est réalisée à GANIL, et le laboratoire est dans l'attente de la réception des détecteurs au germanium. Ce détecteur doit se positionner dans la salle G2 qui a été spécialement aménagée pour l'occasion, aux côtés d'ORION. En ce qui concerne VAMOS, il s'agit d'un spectromètre de très grande acceptance dont l'originalité repose sur la variété de ses modes de fonctionnement. Il comprend une chambre à réaction et sa cible, mais également d'un couple de très gros quadripôles de deux mètres de haut et d'un mètre de large environ, d'un dipôle dont l'angle de déviation peut varier de 0° à 60° et dont la focale est équipée d'une détection de nouvelle génération, et d'un filtre de vitesse du même genre que LISE placé entre quadripôles et dipôle, le tout reposant sur une plateforme animée de deux mouvements, de rotation d'une part mais aussi de translation<sup>31</sup>. Les différentes configurations obtenues par la combinaison de tous ces éléments permettent de répondre aux diverses exigences des expériences envisagées avec les faisceaux de SPIRAL. La conception a commencé en 1998 et le spectromètre doit prochainement être mis en service dans la salle G1 qui a vu le départ de la célèbre chambre Nautilus pour la salle G4. Ces deux équipements de nouvelle génération représente la capacité d'expérimentation du GANIL vis-à-vis de SPIRAL. Auront-ils la même perpétuité que LISE ou SPEG ? Nous le saurons un jour.

## 6 / Pluridisciplinarité au GANIL : IRRSUD et LIMBE :

Fort de son excellente collaboration avec le CIRIL autour du pôle interaction ion-matière, la Direction du GANIL décide en 1998 de renforcer cette collaboration autour de deux projets : IRRSUD, et LIMBE. Ces projets, initiés lors des Conseils scientifiques

---

<sup>30</sup> Annexe 70, représentation 3D d'EXOGAM

<sup>31</sup> Annexe 71, schéma de VAMOS

des 8 juin 1998 et 7 juin 1999, représentent la volonté du GANIL de développer une forte action pluridisciplinaire autour du laboratoire. Il se veut ainsi ouvert à toutes les perspectives.

Ainsi, IRRSUD, mis en service en 2001, est une ligne de faisceau et un poste d'irradiation associés pour des expériences de physique de l'interaction ion-matière. Les ions du carbone à l'uranium disponibles sur IRRSUD sont accélérés par un des cyclotrons injecteurs du GANIL (C01 ou C02). Leur énergie est comprise entre 0.25 et 1 MeV par nucléon<sup>32</sup>.

Pour ce qui est de la Ligne d'Ions Multichargés de Basse Energie (LIMBE) installée dans le hall D de test des sources ECR du GANIL est un outil adapté aux études portant sur les interactions ion-atome, ion-molécule, ion-surface et ion-matériaux à basse énergie<sup>33</sup>. Les premiers faisceaux ont été produits en avril 2000 et les premières expériences ont eu lieu dans la deuxième moitié de l'année.

La réalisation et la mise en service de ces deux ensembles dédiés à la physique non-nucléaire marquent bien la volonté du GANIL de rentrer dans le troisième millénaire fort d'une expérience dans l'accélération des ions lourds, mais également fort d'un capital humain de collaboration dans d'autres disciplines que celle de prédilection de laboratoire. Il se place ainsi dans la logique européenne de constituer des laboratoires ouverts à toutes les formes de recherche. GANIL est un des grands pionniers de ces relations.

## 7 / La Direction et le budget :

Outre la réalisation des différents projets qui se poursuit tout au long des années 1990, les dotations budgétaires entre 1993 et 2001 se stabilisent autour de 50 millions de francs. Cette baisse substantielle du budget du laboratoire limite de fait l'autonomie financière du laboratoire. Il devient ainsi difficile de mener une politique propre d'évolution du laboratoire comme dans les années 80, et le GANIL doit donc se rapprocher des objectifs scientifiques de ses organismes de tutelle. Le contrôle de l'IN2P3 et de la DSM sur le GANIL se fait donc de plus en plus pressant durant cette décennie, également en raison des réductions importantes du budget de la recherche en France qui touche bien évidemment de plein fouet le CEA et le CNRS. Différents directeurs se sont succédés durant ces années tantôt difficiles, tantôt pleines d'espoir. Nous avons quitté la Direction du laboratoire en 1992 avec à sa tête Samuel Harar assisté de M. H. Doubre. En 1993, Samuel Harar est toujours Directeur, mais le Directeur adjoint est cette fois Daniel Guerreau. En 1995, Samuel Harar quitte la Direction, et il est remplacé par Daniel Guerreau, assisté de Jérôme Jouan. C'est sous sa direction que le site du GANIL prend en 1996 pour les 20 ans du GIE le nom de

---

<sup>32</sup> Annexe 72, implantation de IRRSUD

<sup>33</sup> Annexe 73, implantation de LIMBE

« Campus Jules Horowitz » en hommage à l'ancien grand chercheur, directeur de l'IRF et père fondateur du GANIL. Enfin, son mandat de Directeur se terminant au mois d'octobre 2000, Daniel Guerreau et son adjoint M. J.P. Fouan laissent la place à Dominique Goutte et à Marek Lewitowicz. Ces différents directeurs ont toujours su promouvoir avec leurs qualités et leurs défauts le laboratoire, et lui donner sa réputation actuelle. Malgré tout, aucun d'entre eux n'a pu empêcher le seul échec du GANIL : le projet SOLEIL. Ce projet consistait à construire à Caen un équipement national combinant deux projets, d'une part, la source de rayonnement synchrotron SOLEIL, et d'autre part, le collisionneur d'électrons et d'antiélectrons. Le projet bénéficiait bien entendu du soutien de la Région qui espérait ainsi renforcer sa place de région de pointe en recherche fondamentale. Le GANIL, grâce à son expérience, espérait vraiment accueillir cet ensemble, la logistique, les terrains et les compétences techniques étant présents sur le site du laboratoire<sup>34</sup>. Malheureusement, la décision prise en septembre 2000 prévoit l'implantation de SOLEIL sur le plateau de Saclay. GANIL a déjà SPIRAL, il faudra donc s'en contenter. C'est le seul véritable point noir au sein d'une histoire qui regorge de réussites grandioses. Il nous reste maintenant à nous intéresser à l'évolution des études en physique nucléaire au GANIL durant cette dernière décennie, tout particulièrement riche du point de vue des exotiques. Alors concluons par la découverte : les nouvelles connaissances sur ce noyau si complexe.

### C / Sur la piste de la connaissance du noyau :

Depuis une quinzaine d'années, le champ d'investigation de la physique nucléaire s'est élargi à l'étude des noyaux loin de l'équilibre qui regroupe principalement deux axes de recherche. Le premier concerne le développement des techniques de production de noyaux radioactifs, loin de la vallée de la stabilité, et des dispositifs d'accélération permettant d'envisager la production de faisceaux exotiques de grande intensité. Ces faisceaux ouvrent de nouvelles perspectives en structure nucléaire, en vue de mieux comprendre les propriétés de la force nucléaire, responsable de la cohésion des noyaux, en apportant des contraintes nouvelles aux descriptions théoriques actuelles. Le deuxième volet s'intéresse à la physique des noyaux chauds qui a pour quête l'étude de l'équation d'état de la matière nucléaire, dans des conditions extrêmes de température et de pression, dont les propriétés gouvernent la fin de la vie des étoiles massives. Les réactions induites par des faisceaux d'ions sont un moyen privilégié d'étude des noyaux loin de l'équilibre. Le GANIL propose ainsi un large éventail de faisceaux et d'énergies qui en font un outil performant pour sonder les propriétés des noyaux. Ces techniques nous aident, à partir de l'analyse des débris de ces collisions, de remonter aux conditions de température, de pression et de densité qu'un noyau peut supporter. Intéressons-nous donc à ces deux thèmes majeurs.

---

<sup>34</sup> Annexe 74, schéma d'implantation de SOLEIL auprès du GANIL

## 1 / Les nouveaux noyaux exotiques :

Tout au long de la décennie, les recherches continuent sur les noyaux exotiques. L'avantage que procurent les collisions d'ions lourds aux énergies du GANIL découle des propriétés des noyaux formés. En effet, ils sont émis dans une direction proche de celle du faisceau incident et ils sont animés d'une grande vitesse. Ainsi, il est possible de les amener sur le dispositif expérimental avant qu'ils ne se soient transformés en d'autres noyaux et d'observer ainsi des espèces de plus en plus éphémères. D'ingénieux développements ont été réalisés au GANIL afin de filtrer les particules du faisceau primaire et la multitude de noyaux formés. Comme nous l'avons déjà dit, la première sélection est effectuée par l'un des spectromètres magnétiques. La collecte des noyaux exotiques est améliorée grâce à SISSI associé au spectromètre alpha. Enfin, deux critères de tri plus sévères se sont révélés déterminant, l'un tirant parti du ralentissement des ions par traversée de matière, l'autre utilisant le filtre de Wien effectuant une sélection en fonction de la vitesse.

Certains de ces noyaux sont très difficiles à produire. En concurrence avec le GSI de Darmstadt, le GANIL va essayer de les produire. Une des réussites de ce projet est la production de l'étain 100, noyau doublement magique et situé aux confins de la stabilité, lors d'une expérience réalisée au GANIL du 22 au 29 avril 1994. Dans l'ensemble des quelques milliers de noyaux connus quelques uns possèdent des nombres de protons ou de neutrons qui leurs confèrent des propriétés particulières : c'est ce qu'on appelle les noyaux magiques. Seuls quatre d'entre eux ont des nombres égaux de neutrons et protons, l'hélium 4, l'oxygène 16, le calcium 40 et le Nickel 56. L'étain 100, possédant 50 neutrons et 50 protons, est le cinquième et le plus lourd. De plus, il se trouve à la limite de la stabilité. Depuis 25 ans, ce noyau échappait aux physiciens. C'est la combinaison originale d'outils spécifiques et performants, mis en œuvre au GANIL, qui a permis d'atteindre cette zone inexplorée. Tout d'abord, un faisceau d'étain 112, isotope extrêmement rare fourni par le laboratoire de Dubna en Russie, accéléré à 63 MeV par nucléon, est à la base de la découverte. Ensuite, SISSI, tout récemment mis en service, a permis de collecter efficacement les noyaux produits par la fragmentation du faisceau sur une cible de nickel. Les spectromètres alpha et LISE 3 ont alors effectué le tri et l'identification des noyaux recherchés parmi l'ensemble des noyaux secondaires produits. L'ensemble de ce dispositif a permis de produire et d'identifier un noyau d'étain 100 toutes les deux heures, et de les sélectionner sans ambiguïté parmi quelques centaines de millions d'autres noyaux produits lors du bombardement du faisceau sur la cible. En outre, d'autres isotopes voisins ont pu être produits et identifiés, comme le palladium 92, 93, l'indium 99 et l'antimoine 104. Le succès de cette expérience résulte de la coopération étroite entre les équipes techniques du GANIL et des physiciens du GANIL, de l'Université de Varsovie, du laboratoire de Dubna, de l'IPN d'Orsay et du GSI de Darmstadt.

Le 12 septembre 1999, une équipe internationale de physiciens met ensuite en évidence un nouveau noyau atomique, le nickel 48. Prouver son existence était un sujet de recherche depuis une dizaine d'années car deux caractéristiques rares le rendent précieux pour la compréhension du monde subatomique. Comme les électrons dans l'atome, les protons et neutrons du noyau s'ordonnent sur des niveaux d'énergie. Ces couches pouvant accueillir un nombre maximum de particules, le noyau acquiert une cohésion accrue chaque fois qu'une couche est remplie. Ce sont alors des noyaux magiques. Le nickel 48 est l'un des quelques noyaux à avoir à la fois un nombre magique de protons et de neutrons ce qui devrait renforcer sa stabilité. Toutefois, avec seulement 20 neutrons pour 28 protons, il manque à ce nickel la moitié de ses neutrons pour être stable. Il se situe ainsi à l'extrême limite d'existence des noyaux, là où les forces nucléaires cessent d'être capables de lier entre eux les protons et les neutrons. Le nickel 48 met ainsi en lumière les mécanismes fondamentaux de cohésion des noyaux atomiques. Son observation met d'ailleurs en défaut nombre de modèles théoriques qui le prévoyaient instable. Ainsi, au cours de cette expérience s'étalant sur une dizaine de jours, deux noyaux de nickel 48 ont pu être produits et identifiés sans ambiguïté parmi les milliards d'autres noyaux. Ce résultat conforte tous les physiciens dans leur espoir de découvrir encore d'autres noyaux inconnus grâce à SPIRAL, afin de comprendre encore mieux les forces qui lient les constituants des noyaux.

Ces deux découvertes qui illustrent 10 années de recherche prouvent une fois de plus la qualité de l'installation du GANIL et la grande compétence de ses équipes de physiciens, d'ingénieurs et de techniciens, qui savent en collaboration avec des chercheurs venus du monde entier coordonner leurs efforts pour faire avancer nos connaissances du noyau. C'est une réussite supplémentaire qui renforce le crédit de SPIRAL et de GANIL grande installation européenne de recherche en physique nucléaire grâce aux faisceaux secondaires. L'avenir est entre les mains des expérimentateurs.

Mais les découvertes ne s'arrêtent pas là. Elles concernent également la masse des ces exotiques. En effet, la description du noyau est basée sur des forces nucléaires elles-mêmes déterminées à partir des propriétés des noyaux stables. Les mesures de masse effectuées au GANIL mettent ainsi sévèrement à l'épreuve les modèles théoriques. Des mesures très précises ont été obtenues pour une soixantaine de noyaux grâce à l'association des deux spectromètres alpha et SPEG. Deux résultats majeurs ont été obtenus, l'un remettant en question les modèles théoriques à la suite d'une confrontation alarmante avec les mesures trouvées, l'autre confirmant le fait que les noyaux au voisinage du magnésium 32 soient déformés et non sphériques, infirmant ainsi le caractère magique d'un noyau exotique possédant 20 neutrons. Cette perte du caractère magique de ce noyau exotique soulève la question de nouveaux nombres magiques loin de la stabilité.

Une des grandes découvertes de ces années est très certainement la mise en évidence pour certains noyaux légers, saturés en neutrons, du développement autour des nucléons d'une sorte de halo ou de nuage neutronique. Les neutrons excédentaires se situent loin des autres nucléons, bien au-delà des dimensions nucléaires habituelles. Par exemple, un neutron de lithium 11 peut s'éloigner à plus de 10 fermis (1 fermi =  $10^{-15}$  m) du centre du noyau alors que le rayon d'un noyau de masse équivalente, tel le carbone stable de masse 12, n'est que de 2,5 fermis. Du point de vue de la physique quantique, les neutrons du halo ont, pendant un bref laps de temps, une probabilité de se trouver hors de la portée de l'interaction forte qui les retient à l'intérieur du noyau. Ainsi, il a été établi que le halo est bien dû aux neutrons excédentaires et que l'extension du halo dépend de l'énergie qui relie les nucléons du halo au cœur du noyau. Un autre acquis est que le noyau à halo de deux neutrons relève de la même idée de base que le noyau à halo d'un neutron, à ceci près que la présence de deux nucléons supplémentaires autour du cœur nécessite la résolution d'un système quantique à trois corps, problème théorique non résolu.

Enfin, les expériences réalisées au GANIL sur les noyaux exotiques ont fait progresser l'astrophysique dans différents domaines. Les différents processus de la nucléosynthèse stellaire font intervenir des réactions à l'origine de la formation des éléments constituant notre univers. Ces réactions sont difficiles à étudier car elles font intervenir des noyaux radioactifs à de très basses énergies difficilement réalisables en laboratoire. Deux d'entre elles ont pu l'être au GANIL grâce à un stratagème qui consiste à les étudier par le biais des réactions inverses. Une autre découverte concerne l'explosion de supernovae, qui s'accompagne d'un flux de neutrons important. De nouveaux noyaux se forment les uns à partir des autres dans des proportions dépendant de la compétition entre, d'une part la capture d'un neutron formant des noyaux plus exotiques, et d'autre part la radioactivité  $\beta^-$  conduisant à des noyaux plus stables. Dans le système solaire, le calcium 46 est moins abondant que le calcium 48, bien qu'il soit plus proche du plus abondant, le calcium 40. La mesure des périodes et des taux d'émission des particules de radioactivité émises par des noyaux exotiques riches en neutrons a permis de déterminer les noyaux géniteurs des noyaux de calcium 46 et 48 et ainsi de comprendre la raison de ces abondances a priori anormales.

Malgré une vive compétition internationale, le GANIL a obtenu une solide renommée avec des résultats variés portant sur la structure nucléaire, les phénomènes nouveaux comme les noyaux à halos, et, dans un domaine voisin, l'astrophysique. Les nombreux résultats montrent l'efficacité des moyens mis en jeu. Avec SPIRAL, les expériences doivent gagner en qualité, et d'autres deviendront possibles. La structure de noyaux encore plus exotiques pourra être étudiée lors de réactions induites par des ions déjà eux-mêmes exotiques. La matière nucléaire sera poussée dans des conditions plus extrêmes et de nouveaux champs d'investigation seront ainsi ouverts. La force du GANIL réside vraiment dans sa capacité à s'adapter à l'évolution de sa discipline.

## 2 / Les noyaux chauds :

L'étude des collisions d'ions lourds conduisant à la formation de noyaux disposant d'une très haute énergie d'excitation apporte des informations sur la matière nucléaire, sur l'énergie maximale que peut supporter le noyau et sur les modes de stockage de cette énergie. Ces recherches ont des connexions évidentes avec des domaines voisins tels que l'astrophysique et la physique statistique. Ces études qui permettent de fabriquer des noyaux chauds, c'est-à-dire très excités, jusqu'aux limites qu'ils peuvent supporter, se situent dans la gamme des énergies intermédiaires, énergies accessibles au GANIL. L'étude des noyaux chauds est liée à celle de l'équation d'état de la matière nucléaire. Mais elle est à la fois plus riche et plus complexe, en raison de la taille finie des noyaux chauds dont les caractéristiques dépendent à la fois des propriétés de volume que reflète l'équation d'état, et des propriétés de surface dues au nombre fini de constituants. Ainsi, ces noyaux deviennent un sujet d'étude de mécanique statistique des systèmes complexes.

La technique qui préside à leur formation est un aspect important de l'étude. En effet, il s'agit de la conversion de l'énergie cinétique d'un projectile, en l'occurrence un ion lourd, fourni par un accélérateur, en une énergie d'excitation d'un noyau final obtenu après collision sur une cible. Cette conversion est possible parce que, l'expérience l'a montré, la matière nucléaire se comporte comme un fluide très visqueux : deux noyaux en collision réagissent donc en première approximation comme deux gouttes visqueuses qui s'échauffent lorsqu'on les jette l'une contre l'autre. Les températures atteintes sont extraordinairement élevées, puisqu'elles frôlent la centaine de milliards de degrés. Lorsqu'on cherche à obtenir et à dépasser ces températures en augmentant l'énergie incidente du projectile, la fusion complète devient plus difficile, car le noyau cherche à se refroidir avant que l'équilibre thermique soit atteint, et des particules rapides peuvent être émises dès les premiers instants de la collision. D'abord apparues comme gênantes, ces particules se sont révélées intéressantes pour les physiciens car elles conservaient une mémoire des premiers instants de la collision et pouvaient nous renseigner sur les forces subies pendant ces instants. IL a ainsi été possible en distinguant ces particules de déterminer la section efficace de collision nucléon-nucléon dans le milieu et de caractériser les propriétés du noyau chaud formé.

Le détecteur du GANIL spécialisé dans l'étude de la matière nucléaire chaude a pour nom INDRA. Lorsque l'interaction entre deux ions lourds conduit à des états extrêmes d'énergie d'excitation, il y a émission d'un très grand nombre de particules et d'agrégats. Ce n'est qu'en identifiant, collision par collision et sur tout l'espace, l'ensemble des produits de la réaction que l'on peut espérer reconstituer l'histoire de chaque événement et caractériser de façon non ambiguë les états extrêmes de la matière nucléaire. Le détecteur INDRA répond à cet objectif. L'identification se fait par mesure de la perte d'énergie dans deux ou trois couches successives de détecteurs : des

chambres d'ionisation, des détecteurs semi-conducteurs au silicium et des scintillateurs à l'iodure de césium. Au total, INDRA, comprend 612 détecteurs auxquels est associée une électronique très moderne. L'ensemble est totalement informatisé, ce qui autorise les commandes et le contrôle à distance de tous les paramètres.

Différents résultats d'expériences font avancer notre connaissance des ces noyaux. En effet, il est possible d'exciter des noyaux chauds qui subissent des oscillations collectives appelées résonances géantes. Celles-ci sont clairement identifiées jusqu'à des énergies d'excitation de 3 MeV par nucléon. D'une façon générale, jusqu'à cette valeur, l'énergie d'excitation d'un noyau chaud se retrouve à terme emportée par les particules qu'il a évaporées les unes après les autres, dans des étapes successives indépendantes. Pour des énergies d'excitation supérieures, les émissions de noyaux plus lourds appelés agrégats prennent une part de plus en plus significative. Cet effet est prévu par la théorie statistique et reflète seulement le fait que l'effet inhibiteur de la barrière coulombienne et de l'énergie de liaison s'évanouit à haute énergie d'excitation. Ces agrégats sont alors évaporés au même titre que les particules légères. Par contre, au-delà, leur émission est initiée en une seule étape et on peut alors parler de multifragmentation ou de vaporisation. Ces différentes études sont actuellement en cours et contribuent à percer les secrets de cette petite entité, le noyau.

Nous ne nous étendrons pas plus sur ces thèmes. En effet, nous en avons déjà traité dans la première partie. Ce que nous pouvons malgré tout dire, c'est que la deuxième décennie du GANIL ressemble beaucoup à la première. Elles sont toutes deux marquées par d'importants programmes scientifiques et techniques. SISSI, INDRA sont à la croisée des décennies, ainsi que l'OAI et l'opération THI. La concrétisation du projet SPIRAL en septembre 2001 montre évidemment la réussite du laboratoire dans sa réorganisation des forces afin de suivre les thèmes de physique nucléaire. Après 25 ans de fonctionnement, la GANIL paraît toujours aussi jeune et dynamique. Sa devise pourrait évidemment être « plus vite, plus haut, plus fort ». L'année 2002 doit être marqué par les premiers résultats de SPIRAL. Espérons pour le GANIL qu'ils seront conformes aux espoirs placés dans le projet et que les évolutions technologiques ne seront pas des réalisations techniques complexes pour la Technique. Enfin, comme dans toutes les sciences, il est très délicat de faire des prévisions à long terme. Qui sait ce que sera la physique nucléaire de demain...

## CONCLUSION

Il est bien difficile de conclure sur un sujet aussi vaste que l'histoire du GANIL. Nous pouvons tout de même dégager quelques idées directrices. Tout d'abord, le GANIL représente tous les enjeux et toutes les ambitions de la physique nucléaire des années 70. Le CEA et l'IN2P3 ont en effet uni leurs forces afin de créer ce grand laboratoire dans un contexte budgétaire difficile. C'était le moyen pour l'IN2P3 de prouver sa légitimité. Et c'était le grand projet de l'IRF dans le but de garder sa place de grande structure de recherche fondamentale. C'était enfin le moyen de réunir la physique nucléaire au sein d'un projet, les instances de recherche n'ayant pas voulu lors de la création de l'IN2P3 fusionner toutes les structures françaises de recherche fondamentale en physique nucléaire et en physique des particules.

Le GANIL est ensuite le concentré de tout un savoir scientifique et technique des ingénieurs français du CEA et de l'IN2P3. Ces acteurs, dirigés de main de maître par Marc Lefort, pionnier des études avec les ions lourds, et Marcel Gouttefangeas, ont su insuffler au laboratoire lors de sa phase de réalisation une dynamique de fiabilité, d'évolution et de compétence technique. Après la construction qui fut une réussite saluée par les physiciens du monde entier, le GANIL garde sa capacité à innover. Il suit ainsi les évolutions des thèmes de recherche, et devient très rapidement un des centres mondiaux d'excellence en physique nucléaire, tout particulièrement dans le domaine des noyaux exotiques.

Afin de satisfaire aux exigences des chercheurs et de la norme GANIL, différentes opérations visant à améliorer l'énergie et l'intensité du faisceau sont initiées. Les dispositifs expérimentaux suivent également cette évolution, les différentes transformations de LISE en étant la preuve évidente. Après la réussite de ces opérations, le GANIL se place en 1990 parmi les quelques accélérateurs de physique nucléaire aux côtés du GSI de Darmstadt, de Riken au Japon et de MSU aux États-Unis. Sa réputation est essentiellement issue de la qualité en énergie, en intensité, en fiabilité du faisceau, et à toutes les équipes techniques qui possèdent alors un haut niveau de compétences et beaucoup d'expérience. Le GANIL doit alors réfléchir à son avenir.

En raison de ses résultats et du thème de physique qui prend de l'importance, le GANIL avec le projet GANIL PLUS décide de jouer la carte de l'accélération des faisceaux secondaires. Ce projet de 120 millions de francs marque l'histoire du GANIL des années 90. Il donne au laboratoire une nouvelle dimension européenne grâce à la reconnaissance comme grande installation européenne en 1993, mais aussi en raison des

multiples collaborations qui se tissent avec différents laboratoires européens. Cette coopération sera renforcée lors de la réalisation toute récente des dispositifs expérimentaux dédiés à SPIRAL. En effet, le montage financier et technique de ces projets comporte une part très importante de collaboration avec différents pays d'Europe. Désormais, le projet SPIRAL fonctionne et la communauté internationale de physique nucléaire attend avec impatience les premiers résultats. Mais le GANIL ne s'arrête pas là. Il développe également son activité pluridisciplinaire par sa collaboration étroite avec le CIRIL qui est un partenaire depuis toujours. Et l'utilisation des faisceaux d'ions lourds en biologie se développe également autour du pôle d'interaction ion-matière.

Le GANIL est aujourd'hui dans une nouvelle phase de prospective, avec les projets SPIRAL II et EURISOL prévus en 2005 et 2010. Nous ne pouvons savoir aujourd'hui si ces projets seront validés, mais il est clair que GANIL est toujours dans cette dynamique de mobilisation des compétences et des énergies afin de faire évoluer le laboratoire dans le sens des avancées de la physique nucléaire. L'histoire du GANIL n'est pas finie, bien au contraire elle est en marche. Les prochaines grandes étapes sont donc SPIRAL II, mais également la fin possible du GIE puisque théoriquement le groupement n'était créé que jusqu'en 2006. Quelle structure va donc émerger à ce moment ? Seul l'avenir nous le dira. Mais ce qui est vrai pour l'instant, c'est que cette grande aventure humaine qu'est le GANIL continue de marquer les esprits et à susciter des vocations. C'est, à notre sens, le but ultime de la recherche fondamentale. Le contrat initial est donc rempli. Le GANIL est une grande réussite, et la France possède ainsi un outil de choix et de qualité, dédié à une science : la physique nucléaire.

## *Sigles*

|        |  |
|--------|--|
| ALS    | Accélérateur linéaire de Saclay  |
| ANVAR  | Agence nationale pour la valorisation de la recherche  |
| CCPN   | Centre de calcul de physique nucléaire   |
| CCRST  | Comité consultatif de la recherche scientifique et technique   |
| CEA    | Commissariat à l'énergie atomique  |
| CERN   | Laboratoire européen de physique des particules<br>(à l'origine, centre européen de recherches nucléaires)               |
| CEN    | Centre d'études nucléaires (Saclay, Grenoble)  |
| CIRIL  | Centre interdisciplinaire de recherche ions laser  |
| CIRST  | Comité interministériel de la recherche scientifique et technique  |
| CNESER | Conseil national de l'enseignement supérieur et de la recherche  |
| CNRS   | Centre national de la recherche scientifique   |
| CPN    | Contractuel de physique nucléaire  |
| CRN    | Centre de recherches nucléaires (Strasbourg)   |
| CSRT   | Conseil supérieur de la recherche et de la technologie   |
| DAPNIA | Département d'astrophysique, de physique des particules, de<br>physique nucléaire et de l'instrumentation associée (CEA) |
| DGRST  | Délégation générale à la recherche scientifique et technique   |
| DSM    | Direction des sciences et de la matière (CEA)  |
| ESF    | European science foundation  |
| GIE    | Groupement d'intérêt économique  |
| GSI    | Gesellschaft für schwerionen forschung   |
| ILL    | Institut Laue-Langevin   |

|        |   |
|--------|---|
| INAG   | Institut national d'astronomie et de géophysique                            |
| IN2P3  | Institut national de la physique nucléaire et de la physique des particules |
| INRA   | Institut national de recherche agronomique                                  |
| IPN    | Institut de physique nucléaire d'Orsay                                      |
| IRF    | Institut de recherche fondamentale  |
| ITA    | Ingénieurs, techniciens, administratifs                                     |
| LBL    | Lawrence Berkeley Laboratory  |
| MSU    | Michigan State University   |
| NuPECC | Nuclear physics european collaboration commitee                             |
| RIKEN  | Institut de recherches physiques et chimiques (Japon)                       |
| SAIF   | Service des applications industrielles des faisceaux                        |
| SARA   | Système accélérateur Rhône-Alpes  |
| TPN    | Titulaire de physique nucléaire   |

## *Glossaire*

**Alpha** : les particules composant le rayonnement alpha sont des noyaux d'hélium 4, fortement ionisants mais très peu pénétrants. Une simple feuille de papier est suffisante pour arrêter leur propagation (symbole  $\alpha$ ).

**Atome** : constituant de base de la matière. Il est composé d'un noyau (neutrons + protons) autour duquel gravitent des électrons.

**Bêta** : les particules composant le rayonnement bêta sont des électrons de charge négative ou positive. Un écran de quelques mètres d'air ou une simple feuille d'aluminium suffisent à les arrêter (symbole  $\beta$ ).

**Buncher ou (re)groupeur** : le rôle d'un groupeur est de transformer le faisceau continu provenant d'une source d'ions en une suite de paquets d'ions aptes à être injectés, puis accélérés dans un accélérateur cyclique. On augmente ainsi l'intensité moyenne du faisceau accéléré.

**CSS** : abréviation donnée au cyclotron à secteurs séparés.

**Décroissance radioactive ou désactivation** : diminution d'activité nucléaire d'une substance radioactive par désintégrations spontanées.

**Dee** : c'est la désignation anglaise de la quatrième lettre de l'alphabet, qui sous sa forme majuscule évoque le contour des électrodes de 180 degrés d'ouverture des premiers cyclotrons. Un *dé* peut être considéré comme une ligne quart d'onde, de forme aplatie, à l'intérieur de laquelle circule le faisceau. De part et d'autre de son extrémité, il est bordé par des électrodes appelées *dummy-dees*, ou contre-dés. Les deux espaces séparant le dé des contre-dés sont des zones de champ HF et constituent les espaces accélérateurs ou *gaps*.

**Fission nucléaire** : éclatement d'un noyau lourd en deux parties, accompagné d'émission de neutrons, de rayonnements et d'un important dégagement de chaleur. Cette réaction est à la base de la production d'énergie nucléaire.

**Fusion nucléaire** : formation d'un noyau lourd à partir de deux noyaux légers, accompagnée d'un fort dégagement de chaleur.

**Gamma** : rayonnement électromagnétique très pénétrant mais peu ionisant émis par la désintégration d'éléments radioactifs. Des écrans de béton ou de plomb permettent de s'en protéger (symbole  $\gamma$ ).

**Gaz rares** : gaz dépourvus d'affinité chimique et ne donnant aucun composé. Ce sont l'argon, l'hélium, le krypton, le néon et le xénon.

**Ion** : Atome ou groupe d'atomes ayant gagné ou perdu un ou plusieurs électrons.

**Ion lourd** : atome ayant gagné ou perdu un ou plusieurs électrons, et correspondant aux éléments chimiques situés au-delà de l'hélium.

**Isotopes** : éléments dont les atomes possèdent le même nombre d'électrons et de protons, mais un nombre différent de neutrons.

**Neutron** : particule fondamentale électriquement neutre qui entre, avec les protons, dans la composition du noyau de l'atome.

**Noyaux exotiques** : noyaux qui, par rapport aux noyaux stables, sont caractérisés par leur inexistence sur terre et par un fort déséquilibre entre leurs nombres de protons et de neutrons. Ces noyaux, formés au cœur même des étoiles, se désintègrent en d'autres noyaux plus stables par différents processus expliqués plus haut.

**Période radioactive** : temps nécessaire pour que la quantité d'atomes d'un élément radioactif se soit désintégrée de moitié. La période varie avec les caractéristiques de chaque radioélément : 110 minutes pour l'argon 41, 8 jours pour l'iode 131, 4,5 milliards d'années pour l'uranium 238.

**Proton** : particule élémentaire chargée positivement et constituant avec les neutrons, le noyau de l'atome.

**Radiation** : mot synonyme de rayonnement qui désigne une transmission d'énergie sous forme lumineuse, électromagnétique ou corpusculaire. Lorsque la radiation implique la présence de rayonnements ionisants, elle prend le nom d'irradiation.

**Radioactivité** : émission spontanée de particules alpha, bêta ou d'un rayonnement gamma. On désigne plus généralement sous cette appellation l'émission de rayonnements accompagnant la fission ou la désintégration d'un élément instable.

**Radioélément** : toute substance chimique radioactive. Seul un petit nombre de radioéléments existent naturellement sur terre : il s'agit de quelques éléments lourds (thorium, uranium, radium) et de quelques légers (carbone 14).

**Rang d'harmonique** : rapport de la fréquence HF à la fréquence de rotation des particules.

**Réaction en chaîne** : suite de fissions nucléaires au cours desquelles les neutrons libérés provoquent de nouvelles fissions, à leur tour génératrices de neutrons expulsés vers des noyaux cibles et ainsi de suite.

**Stripping ou épluchage** : si des atomes partiellement ionisés, ayant acquis une énergie suffisante, traversent une feuille mince, généralement du carbone, ils perdront de nouveau des électrons, et verront donc leur état d'ionisation augmenter.

**Transuraniens** : éléments chimiques plus lourds que l'uranium, de numéro atomique 92, comme le neptunium, le plutonium, l'américium et le curium.

# BIBLIOGRAPHIE

## I / PHYSIQUE ET PHYSIQUE NUCLEAIRE :

### ↵ Tout d'abord quelques œuvres de vulgarisation afin de se familiariser avec le domaine de la physique, et plus particulièrement celui de la physique nucléaire :

- ◆ BLANC (Daniel), *L'électronique nucléaire*, PUF, « Que sais-je ? », n°1438, 1981, 128 p.
- ◆ DUQUESNE (Maurice), *Matière et Antimatière*, PUF, « Que sais-je ? », n°767, 1982, 125 p.
- ◆ KAHAN (Théo), *Le noyau atomique*, PUF, « Que sais-je ? », n°1826, 1984, 128 p.
- ◆ BLANC (Daniel), *La physique nucléaire*, PUF, « Que sais-je ? », n°2139, 1984, 125 p.
- ◆ DAVIES (Paul), *Les forces de la nature*, Armand Colin, 1989, 182 p.
- ◆ BIENVENU (Claude), *L'aventure nucléaire*, Presse-Pocket, 1999, 127 p.
- ◆ CROZON (Michel), *L'univers des particules*, Le Seuil, 1999, 245 p.
- ◆ MERMOD (Ronald), *De l'électron aux quarks : une physique particulière*, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, 1999, 123 p.
- ◆ BLANC (Daniel), *Physique nucléaire, particules*, Masson, 1995, 334 p.
- ◆ GLASHOW (Sheldon L.), *Le charme de la physique : la recherche des secrets de la matière*, Hachette littérature, 1999, 321 p.
- ◆ AUDOUZE (Jean), *Astrophysique nucléaire*, PUF, « Que sais-je », n°1473, 1972, 128 p.
- ◆ CEA, Direction de la Communication, *Comprendre la physique*, Paris, 1995, 9 fascicules de 10 pages.

### ↵ Ensuite quelques ouvrages spécialisés destinés à un lectorat plus scientifique :

- ◆ BAYET (Michel), *Physique nucléaire*, Masson, 1960, 404 p.
- ◆ TOCHERIS (Michel), *Les modèles du noyau*, PUF, 1959, 150 p.
- ◆ VALENTIN (Luc), *Noyaux et particules : modèles et symétries*, Herman, 1989, 375 p.
- ◆ KAHAN (Théo) et MAGNAN (Claude), *L'énergie atomique et ses applications*, Albin Michel, 1949, 261 p.
- ◆ BLANC (Daniel) et AMBROSINO (Georges), *Eléments de physique nucléaire*, Masson, 1960, 238 p.

- ◆ ZUKAV (Gary), *La danse des éléments : un survol de la nouvelle physique*, Robert Laffont, 1982, 334 p.
- ◆ BLANC (Daniel), *Noyaux, particules, réacteurs nucléaires*, Masson, 1995, 334 p.
- ◆ BLANC (Daniel), *Précis de physique nucléaire*, Montrouge, Dunod, 1999, 213 p.
- ◆ LIBMANN (Jacques), *Eléments de physique nucléaire*, Les Ulis, Les Editions de Physique, 1997, 574 p.

↪ **Enfin quelques études spécifiques à la recherche fondamentale en physique nucléaire:**

- ◆ LABBE (Marie-Hélène), *Le nucléaire à la croisée des chemins*, La documentation française, 2000, 176 p.
- ◆ DETRAZ (Claude) et ISABELLE (Didier), *La recherche en physique nucléaire*, Articles choisis et présentés, Evreux, Société d'éditions scientifiques, 1983, 319 p.
- ◆ NE'EMAN (Yuval) et KIRSH (Yoram), *Les chasseurs de particules*, O. Jacob, 1999, 345 p.
- ◆ WEINBERG (Steven), *Le rêve d'une théorie ultime*, O. Jacob, 1997, 278 p.
- ◆ VALENTIN (Luc), *Le monde subatomique : énigmes et trouvailles*, Herman 1995, 313 p.
- ◆ CAVEDON (Jean-Marc), *La radioactivité*, Flammarion, 1996, 192 p.

## II / HISTOIRE DE LA PHYSIQUE :

↪ **Citons tout d'abord quelques manuels d'introduction à l'histoire de la physique :**

- ◆ COHEN (Bernard), *Les origines de la physique moderne*, Payot, 1962, 288 p.
- ◆ LOCQUENEUX (Robert), *Histoire de la physique*, PUF, « Que sais-je ? », n°421, 1987, 127 p.
- ◆ BIENZUNSKI (Michel), *Histoire de la physique moderne*, La Découverte, 1993, 239 p.
- ◆ TATOR (R.), *Histoire générale des sciences*, PUF, 1966
- ◆ SERRES (Michel), *Eléments d'histoire des sciences*, Bordas, 1989, 575 p.
- ◆ PULLMAN (Bernard), *L'atome dans l'histoire de la pensée humaine*, Fayard, 1995, 438 p.
- ◆ D'ESPAGNAT (Bernard) et KLEIN (Etienne), *Regards sur la matière. Des quanta et des choses*, Fayard, 1991, 378 p.
- ◆ BIEZUNSKI (Michel), *Histoire de la physique moderne*, La Découverte, 1993, 243 p.

↪ **Quelques ouvrages historiques plus spécialisés :**

- ◆ PESTRE (Dominique), *Physique et physiciens en France, 1918-1940*, Editions des archives contemporaines, 1985, 356 p.
- ◆ PICARD (Jean-François), *La république des savants : la recherche française et le CNRS*, Flammarion, 1990, 339 p.
- ◆ KRIGE (John) et PESTRE (Dominique), *Science in the twentieth century*, Amsterdam, Harwood, 1997, 941 p.
- ◆ HOROWITZ (Jules), *L'œuvre de Jules Horowitz*, Gif-sur-Yvette, CEA, 1999, 2 volumes 369,533 p.
- ◆ HOFFMAN (Banesh), *Histoire d'une grande idée : la relativité*, Belin, 1985, 590 p.
- ◆ LABERRIGUE-FROLOW (Jeanne), *La physique des particules élémentaires : de sa naissance à sa maturité, 1930-1960*, Masson, 1990, 167 p.

↪ **Quelques biographies et monographies particulièrement remarquables :**

- ◆ PFLAUM (Rosalynd), *Marie Curie et sa fille Irène : deux femmes, trois Nobel*, Belfond, 1992, 449 p.
- ◆ HURWIC (Anna), *Pierre Curie*, Flammarion, 1995, 302 p.
- ◆ PINAULT (Michel), *Frédéric Joliot-Curie*, O. Jacob, 2000, 712 p.
- ◆ RAMUNNI (Girolamo), *Cent ans d'histoire de l'école supérieure d'électricité, 1894-1994*, Saxifrage, 1995, 304 p.
- ◆ DAVIET (Jean-Pierre), *Eurodif : histoire de l'enrichissement de l'uranium, 1973-1993*, Anvers, Fonds Mercator, 1993, 368 p.
- ◆ LE ROUX (Muriel), *Un siècle de recherche industrielle à Pechiney*, Paris, Rive Droite, 1998, 499 p.
- ◆ LE ROUX (Muriel), GRINBERG (Ivan) et Griset (Pascal), *Cent ans d'innovation dans l'industrie aluminium*, l'Harmattan, 1997, 222 p.
- ◆ PICARD (Jean-François), *La fondation Rockefeller et la recherche médicale*, PUF, 1999, 237 p.
- ◆ CREMIEUX-BRILHAC (Jean-Louis) et PICARD (Jean-François), *Henri Laugier en son siècle*, CNRS, 1995, 157 p.
- ◆ BEN DAVID (Joseph), *La recherche fondamentale et les universités : réflexions sur les disparités internationales*, CNRS, 1968, 117 p.
- ◆ PO (Jean-Damien), *Les moyens de la puissance : les activités militaires du CEA (1945-2000)*, Fondation pour la Recherche Stratégique, 2001, 268 p.
- ◆ LEGENDRE (Claude) et DEBIAR (Alain), *Du fort de Châtillon au CEA de Fontenay-aux-roses ou 50 ans d'études nucléaires en ville (1946-1996)*, CEA, 1996, 96 p.

- ◆ DARMON (Gérard), *Psychologie d'une décision en science lourde : l'institut franco-allemand de radioastronomie millimétrique*, Doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle, EHESS, 1981,
- ◆ EI NEMER (Sabar), *Noopolis, les laboratoires de recherche fondamentale : de l'atelier à l'usine*, Doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle, Groupe d'études et de recherche sur la science, Paris 6, 1979

#### ↪ Des ouvrages étrangers sur l'histoire de la physique :

- ◆ BELLONI (Lanfranco), *Da Fermi a Rubbia*, Milan, Rissoli, 1988, 217 p.
- ◆ PAIS (Abraham), *Niels Bohr's times : in physics, philosophy, and polity*, Oxford, Clarendon Press, 1991, 565 p.
- ◆ PICKERING (Andrew), *Constructing quarks : a sociological history of particle physics*, Chicago, University of Chicago Press, 1984, 468 p.
- ◆ HEILBRON (John), *A history of the Lawrence Berkeley Laboratory ; tome I : Lawrence and his laboratory*, Berkeley, University of California Press, 1990
- ◆ CREASE (Robert P.), *Making physics : a biography of Brookhaven National laboratory*, Chicago, University of Chicago Press, 1999
- ◆ WESTFALL (Catherine), *The first « Truly National Laboratory » : The birth of Fermilab History*, Michigan State University Press, 1988
- ◆ HERMANN (A.), KRIGE (J.), MERSITS (U.) et PESTRE (D.), *History of CERN Volumes I, II and III*, Amsterdam, North Holland Publishers - Vol. I, *Lauching the European Organization of Nuclear Research*, 1987, 622 p. - Vol. II, *Building and Running the Laboratory*, 1990, 902 p. - Vol. III, *History of CERN Volume III*, 1996, 674 p.

#### ↪ Des œuvres collectives sur l'histoire des institutions scientifiques françaises :

- ◆ LOVERINI (Marie-José), *Le Commissariat à l'Energie Atomique*, Gallimard, 1996, 144 p.
- ◆ ARNAUT (Robert), *L'arbre à deux branches, la grande aventure du CNRS*, Presses de la Cité, 1979, 311 p.
- ◆ YOCCOZ (Jean) (sous la direction de), *25 ans de recherche à l'IN2P3*, Frontières, 1996, 303 p.
- ◆ BIMBOT (René), BONNIN (André), DELOCHE (Robert) et LAPEYRE (Claire), *Cent ans après : la radioactivité, le rayonnement d'une découverte*, EDP Sciences, 1999, 223 p.
- ◆ DELOCHE (Robert), *Institut de Recherche Fondamentale : 40 ans de recherche*, CEA, 1986, 188 p.

- ◆ BELHOSTE (Bruno), GISPERT (Hélène) et HULIN (Nicolas), *Les sciences au lycée : un siècle de réformes des mathématiques et de la physique en France et à l'étranger*, Vuibert, 1996, 330 p.
- ◆ BEX (Monique), Chabert (André), Galin (Joël), Pouthas (Joël), Suraud (Eric), *G.A.N.I.L.*, Caen, Les Editions du GANIL, 1990, 64 p.

↪ **Des articles tout à fait remarquables :**

- ◆ BLANCPAIN (Frédéric), « La création du CNRS, histoire d'une décision (1901-1939) », in *Bulletin de l'Institut international d'administration publique*, n°32, oct.-déc. 1974, pp. 751-801
- ◆ GAIN (Nicole), « Le CNRS face à la nouvelle politique de la recherche, stratégie gouvernementale et résistance des structures », in *Revue de Droit Public et de la Science Politique en France et à l'Etranger*, XCIII, n°3, mai-juin 1977, pp.587-654
- ◆ LEMAINÉ (G.), « La lutte pour la vie dans la cité scientifique », in *Revue française de sociologie*, 10-1975
- ◆ MARTRAY (C.), « Le Centre national de la recherche scientifique », in *Revue du Trésor*, n°5, 1977, pp.3-14
- ◆ LATOUR (Bruno), « L'histoire des sciences a-t-elle un sens ? », in *La Recherche*, n°303, novembre 1997

↪ **Quelques articles de Dominique Pestre, figure française incontournable de l'histoire des sciences :**

- ◆ PESTRE (Dominique), « Comment écrire l'histoire des sciences ? », in *Le débat*, n°102, novembre-décembre 1998, 224 p.
- ◆ PESTRE (Dominique), « Les sciences et l'histoire aujourd'hui », in *Le débat*, n°102, novembre-décembre 1998, pp. 53-68
- ◆ PESTRE (Dominique), « Sciences des philosophes, Sciences des historiens », in *Le débat*, n°102, novembre-décembre 1998, pp. 99-106
- ◆ PESTRE (Dominique), « Lieux de sciences : laboratoires, observatoires, académies, jardins, écoles, muséums, industries, fondations... », in *La Recherche*, n°300, juillet-âout 1997, pp. 26-27
- ◆ PESTRE (Dominique), « De l'innovation aux usages : dix thèses éclectiques sur l'histoire des techniques », in *Annales (Histoire, Sciences Sociales)*, 1998, vol. 53, n°4-5, pp. 815-837

- ◆ PESTRE (Dominique), « Pour une histoire sociale et culturelle des sciences. Nouvelles définitions, nouveaux objets, nouvelles pratiques. », in *Annales (Histoire, Sciences Sociales)*, vol. 3, mai-juin 1995, pp. 487-522
- ◆ PESTRE (Dominique), « Commemorative practices at CERN between physicists memories and historians narratives », in *Osiris*, vol.14, 1999, pp. 203-216

↵ **Deux ouvrages et quelques liens Internet en guise de conclusion :**

- ◆ SFEZ (Lucien), *Critique de la décision*, Paris, Colin, 1973, 367 p.
- ◆ SABOURET (Jean-François) et CARO (Paul), *Chercher : jours après jours, les aventuriers du savoir*, Paris, Autrement, 2000, 214 p.
- ◆ La base de données officielle de la Bibliothèque Nationale de France : [www.bnf.fr/web-bnf/catalog/opale.htm](http://www.bnf.fr/web-bnf/catalog/opale.htm) (tous les ouvrages enregistrés à la BNF depuis 1960)
- ◆ La base de données de l'Institut de l'Information Scientifique et Technique du CNRS (INIST) : [www.larecherche.fr/cher/inist.html](http://www.larecherche.fr/cher/inist.html) (près de 7 millions d'articles disponibles en ligne)
- ◆ La base de donnée ELECTRE : [www.electre.com](http://www.electre.com) ( 550 000 ouvrages référencés)
- ◆ Le site officiel du CNRS : [www.cnrs.fr](http://www.cnrs.fr)
- ◆ Le site officiel du CEA : [www.cea.fr](http://www.cea.fr)
- ◆ Le site officiel de l'IN2P3 : [www.in2p3.fr](http://www.in2p3.fr)
- ◆ Le site officiel du GANIL : [www.ganil.fr](http://www.ganil.fr)
- ◆ Le site du Comité pour l'histoire du CNRS : [www.cnrs.fr/ComiHistoCNRS/index.html](http://www.cnrs.fr/ComiHistoCNRS/index.html)
- ◆ Le site du centre Alexandre Koyré, histoire des sciences et des techniques (division histoire de l'école des hautes études en sciences sociales (EHESS), dirigée par Dominique Pestre) : [www.ehess.fr/centres/koyre/Centre\\_A\\_KOYRE.html](http://www.ehess.fr/centres/koyre/Centre_A_KOYRE.html)

# **SOURCES et ARCHIVES**

## **↪ ARCHIVES : LES PRINCIPAUX FONDS UTILISES :**

La documentation du GANIL est en l'occurrence une source de qualité. En effet, des origines du projet à aujourd'hui, de nombreux textes et rapports ont été conservés. C'est une véritable chance de posséder pour ce laboratoire des archives aussi complètes. Les pièces les plus intéressantes des archives du laboratoire sont les suivantes :

### **I / LA PHASE DE CONCEPTION ET DE REALISATION DU PROJET :**

- ◆ Le rapport du groupe de travail pour l'accélérateur national à ions lourds ou « premier Livre Bleu », en référence à la couleur de la couverture: il s'agit du document qui regroupe les recommandations du groupe de travail formé en décembre 1972, et qui était chargé d'examiner les étapes techniques et financières nécessaires à la réalisation d'un accélérateur d'ions lourds.
- ◆ Le « deuxième Livre Bleu »: ce rapport datant d'avril 1975 présente les différents choix technologiques retenus pour la réalisation de l'ensemble accélérateur.
- ◆ Les procès-verbaux des Comités scientifiques GANIL et du Comité de Direction: ces différents documents sont très précieux car ils permettent de suivre l'évolution scientifique, technique et administrative du GANIL pendant sa construction.
- ◆ Les comptes rendus des « Journées GANIL »: se déroulant en juin 1976, novembre 1977 et novembre 1979, ces rapports font le point sur l'avancement des travaux (génie civil et ensemble accélérateur) et sur le choix des dispositifs expérimentaux.
- ◆ Le bulletin d'informations GANIL: 12 numéros qui apportent de nombreuses informations sur l'origine du projet et sur l'évolution des travaux. Le bulletin s'arrête sous cette forme en janvier 1983 avec la première expérience et après la nomination d'un nouveau directeur, Claude Détraz, à la place de Marc Lefort.

Ces différents documents sont essentiels à la compréhension de l'évolution du projet GANIL et de la phase de construction. Le laboratoire rentre ensuite dans une deuxième phase : la période de production et d'utilisation.

### **II / UTILISATION DU FAISCEAU ET REALISATION DES EXPERIENCES :**

La documentation devient alors extrêmement abondante. On peut malgré tout dégager certains documents à la valeur historique indéniable, qui concernent les 19 années de fonctionnement du GANIL :

- ◆ Les rapports du Conseil scientifique: conservés depuis l'origine du conseil, ils nous renseignent sur les thèmes de recherches développés au sein de la communauté scientifique. C'est un excellent support pour discerner l'évolution des thèmes de physique nucléaire.
- ◆ Les rapports du Comité d'expériences: ce comité a pour mission d'accepter ou de refuser les propositions d'expériences et d'accorder aux physiciens un temps de faisceau.

- ◆ Les rapports du Comité des utilisateurs du GANIL : ce conseil propose des évolutions sur les dispositifs expérimentaux afin d'améliorer la qualité des expériences réalisées au GANIL.
- ◆ Le Comité de direction : les procès-verbaux permettent de suivre l'évolution du GANIL au sein de ses structures de tutelle, le CEA et l'IN2P3.
- ◆ Les comptes-rendus des réunions des délégués du personnel et la commission paritaire locale d'avancement : le personnel réfléchit localement grâce à ces instances aux améliorations possibles des conditions de travail et des statuts CEA ou CNRS.
- ◆ Le rapport annuel de la Division accélérateur : il consigne toutes les informations concernant les accélérateurs : temps de fonctionnement, nombre d'expériences, problèmes majeurs rencontrés, évolutions technologiques.
- ◆ Les rapports concernant les dispositifs de détection : ils sont très nombreux et concernent la vie des dispositifs de leur élaboration à leurs différentes évolutions et parfois leur démontage final. C'est une source essentielle en ce qui concerne les caractéristiques techniques et le fonctionnement des détecteurs.
- ◆ GANIL infos : ce petit bulletin interne destiné au personnel fourmille d'informations sur la vie sociale et scientifique du laboratoire. Il s'est étoffé en 25 ans et, par chance, il est conservé en totalité depuis son origine en 1983. Il a remplacé le bulletin d'informations.
- ◆ Les Nouvelles du GANIL : Ce bulletin à caractère scientifique destiné à informer la communauté des chercheurs en physique nucléaire regroupe depuis juin 1983 les découvertes scientifiques du laboratoire. C'est une compilation inestimable.
- ◆ Le rapport d'activité annuel du GIE GANIL : document à caractère administratif, il fait le point annuellement sur le fonctionnement financier du GANIL assuré par le Groupement d'Intérêt Economique (GIE), organe juridique du laboratoire. Ce document est extrêmement important puisqu'il nous renseigne sur les dépenses d'équipements et de fonctionnement au quotidien du GANIL.
- ◆ Les compilations d'articles de journaux : un effort tout particulier a été réalisé par les différents services de documentation du CEA, du CNRS et du GANIL afin d'élaborer une base de données regroupant tous les articles de journaux parus dans la presse française et internationale concernant le GANIL et ses travaux. C'est un instrument remarquable pour étudier l'impact du GANIL localement, au niveau national et international.

### **III / LES ARCHIVES DES ORGANISMES DE TUTELLE DU GANIL : CEA ET CNRS :**

Il est tout à fait indispensable de consulter la documentation propre à l'IN2P3, au CNRS, à la DSM et au CEA afin de se faire une idée claire et précise de la place du laboratoire GANIL au sein de la recherche française et internationale. Les documents à consulter à la Documentation du GANIL sont les suivants :

- ◆ Les rapports d'activité annuelle financiers et scientifiques de l'IN2P3 et du CNRS : ces rapports sont capitaux afin de mettre en perspective les fonds alloués au GANIL par rapport aux autres laboratoires.
- ◆ Les rapports d'activité annuelle financiers et scientifiques de l'IRF, puis de la DSM et du CEA : même remarque que pour le CNRS, ces rapports donnent une vision du GANIL dans la sphère CEA.

- ◆ Les différents journaux d'informations du CEA et du CNRS destinés soit à la presse soit au personnel : il faut signaler ici une particularité du GANIL : le GIE gère le fonctionnement et l'entretien de la machine, mais pas le personnel qui est détaché du CEA et du CNRS. Il est donc important de consulter ces différents bulletins afin d'appréhender les disparités de statuts et les différents objectifs scientifiques des deux organismes d'Etat.

#### **IV / LES SOURCES ORALES :**

On ne peut s'intéresser à la vie d'un laboratoire sans discuter avec les différents témoins qui ont participé à sa construction et à son évolution. Je citerai ici les différents entretiens que j'ai eu l'occasion de mener :

- ◆ M. Rémy Anne, physicien expérimentateur ; M. Dominique Van den Bosch, ingénieur CEA ; M. Laurent Beauvais, secrétaire général du GIE ; M. Jacques Cacciti, ingénieur CEA responsable de salle ; M. Joël Galin, physicien ; M. François De Oliveira Santos, physicien ; M. Jean-Marc Casandjian, physicien ; M. Eric Baron, ingénieur, responsable de la division accélérateur ; M. Pietr Van Isacker, physicien théoricien. L'objectif de conserver une parité CEA-CNRS dans le nombre des entretiens a été atteint. Il est en effet nécessaire pour rester objectif de contrebalancer les opinions des membres des deux organismes.

#### **V / ARCHIVES DU CNRS ET ARCHIVES DU CEA :**

Signalons tout d'abord que les documents de l'IN2P3 et du CEA concernant le GANIL sont relativement les mêmes que ceux présents dans les archives du laboratoire. Les seuls fonds qui nous ont permis de compléter les manques, tout particulièrement sur la période 1974-1977 sont les archives du CNRS à Gif-sur-Yvette et les dépôts d'archives du CNRS à Fontainebleau :

- ◆ Archives de Gif-sur-Yvette : G 950055, dossiers de construction GANIL, art. 1-3, G 970029, comptes financiers, art. 1-5, G 950040, transcriptions écrites des entretiens avec Jean Yoccoz et Jean Teillac
- ◆ Archives de Fontainebleau : F 820767, Comités de projet, art. 8, Comités de direction, art. 9, Grands accélérateurs de l'IN2P3, art. 15, F 780518, dépenses et budgets 1959-1972

Ces différents articles nous ont permis de retrouver les procès verbaux des Comités de projet qui nous donnent de nombreuses explication sur le contexte scientifique de création du GANIL, et qui avaient malheureusement disparu du GANIL. C'est donc l'état global que nous pouvions faire des différentes sources qui nous ont permis de rédiger notre mémoire de maîtrise.

## *Table des annexes*

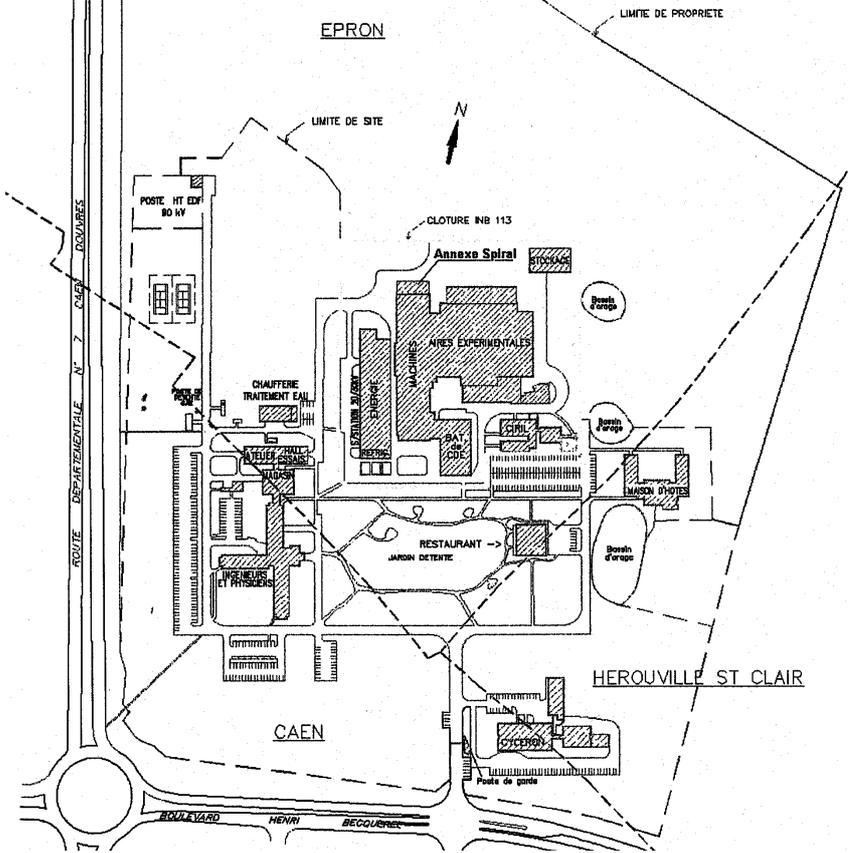
|   |     |
|---|-----|
| Annexe 1 - Plan général du GANIL  | 199 |
| Annexe 2 - Présentation du système accélérateur                           | 200 |
| Annexe 3 - Photographies des dispositifs expérimentaux SPEG et INDRA      | 201 |
| Annexe 4 - Les aires expérimentales                                       | 202 |
| Annexe 5 - Performances prévues du projet GANIL                           | 203 |
| Annexe 6 - Plan initial du GANIL  | 204 |
| Annexe 7 - Planning prévisionnel de la construction                       | 205 |
| Annexe 8 - Plan du GANIL, juillet 1974                                    | 206 |
| Annexe 9 - Plan général du GANIL par la société Technicatome              | 207 |
| Annexe 10 - Avant-projet de bâtiment principal                            | 208 |
| Annexe 11 - Planning général de la construction, avril 1975               | 209 |
| Annexe 12 - Questionnaire sur l'implantation du GANIL                     | 210 |
| Annexe 13 - Contrat constitutif du GIE GANIL                              | 216 |
| Annexe 14 - Extrait du registre du commerce, immatriculation du GIE GANIL | 224 |
| Annexe 15 - Photographie de la construction du bâtiment ingénieurs        | 225 |
| Annexe 16 - Photographie de la maquette _ d'un des secteurs de CSS        | 226 |
| Annexe 17 - Photographie de la cavité accélératrice expérimentale         | 227 |
| Annexe 18 - CSS ensemble éclaté et ensemble monté                         | 228 |
| Annexe 19 - Photographie de la maquette du résonateur                     | 229 |
| Annexe 20 - Plan masse des bâtiments machine et aires expérimentales      | 230 |
| Annexe 21 - Maquette _ des secteurs magnétiques                           | 231 |
| Annexe 22 - Photographie de la source d'ions                              | 232 |
| Annexe 23 - Plan du spectromètre en alpha                                 | 233 |
| Annexe 24 - Photographies de la construction du bâtiment machine          | 234 |
| Annexe 25 - Photographie du premier secteur magnétique                    | 235 |
| Annexe 26 - Schéma de la chambre à vide de CSS1                           | 236 |
| Annexe 27 - Vue en perspective d'un résonateur des CSS                    | 237 |
| Annexe 28 - Questionnaire relatif au fonctionnement du GANIL              | 238 |
| Annexe 29 - Plan des bâtiments du GANIL                                   | 239 |
| Annexe 30 - Photographies montrant l'avancement des travaux               | 240 |
| Annexe 31 - Photographies de l'arrivée de la chambre à vide               | 241 |
| Annexe 32 - Photographie des 4 secteurs de CSS1 montés                    | 242 |
| Annexe 33 - Plan de la ligne L1   | 243 |
| Annexe 34 - Maquette de la chambre temps de vol                           | 244 |
| Annexe 35 - Plan de Nautilus  | 245 |
| Annexe 36 - Coupe de la chambre Cyrano                                    | 246 |
| Annexe 37 - Photographie aérienne du laboratoire                          | 247 |
| Annexe 38 - Plan H  | 248 |
| Annexe 39 - Plan H'   | 249 |
| Annexe 40 - Plan général et maquette de SPEG                              | 250 |
| Annexe 41 - Plan de la ligne LISE   | 251 |
| Annexe 42 - Photographie de l'ensemble accélérateur en construction       | 252 |
| Annexe 43 - Photographie de l'arête de poisson en construction            | 253 |
| Annexe 44 - Plan du GANIL, juin 1983                                      | 254 |

|  |     |
|--|-----|
| Annexe 45 - Plan de LISE   | 255 |
| Annexe 46 - Planning O.A.E.  | 256 |
| Annexe 47 - Plan d'implantation de la SME                          | 257 |
| Annexe 48 - Note conjointe GANIL-CIRIL sur l'utilisation de la SME | 258 |
| Annexe 49 - Le multidétecteur TAPS                                 | 259 |
| Annexe 50 - Implantation de LISE 3                                 | 260 |
| Annexe 51 - Implantation et plan de SISSI                          | 261 |
| Annexe 52 - Principe de fonctionnement d'INDRA                     | 262 |
| Annexe 53 - Les couronnes d'INDRA                                  | 263 |
| Annexe 54 - Implantation d'INDRA en D5                             | 264 |
| Annexe 55 - Schéma général de l'acquisition                        | 265 |
| Annexe 56 - Les ions accélérés au GANIL après l'O.A.E.             | 266 |
| Annexe 57 - Quelques images de CYCERON                             | 267 |
| Annexe 58 - Noyaux exotiques étudiés au GANIL                      | 268 |
| Annexe 59 - Le projet GANIL PLUS                                   | 269 |
| Annexe 60 - Schéma de l'installation SPIRAL                        | 270 |
| Annexe 61 - Schéma de l'installation linéaire                      | 271 |
| Annexe 62 - Implantation de l'ensemble accélérateur                | 272 |
| Annexe 63 - schémas d'implantation de SPIRAL, sous-sol et RDC      | 273 |
| Annexe 64 - Planning du projet SPIRAL                              | 274 |
| Annexe 65 - Photographies de la construction                       | 275 |
| Annexe 66 - Le cyclotron CIME en place                             | 276 |
| Annexe 67 - Photographies des lignes de faisceau de SPIRAL         | 277 |
| Annexe 68 - Photographie de l'ensemble cible/source                | 278 |
| Annexe 69 - Représentation 3D de SIRa                              | 279 |
| Annexe 70 - Représentation 3D d'EXO GAM                            | 280 |
| Annexe 71 - Schéma de VAMOS  | 281 |
| Annexe 72 - Implantation de IRRSUD                                 | 282 |
| Annexe 73 - Implantation de LIMBE                                  | 283 |
| Annexe 74 - Schéma d'implantation de SOLEIL auprès du GANIL        | 284 |

# ANNEXES

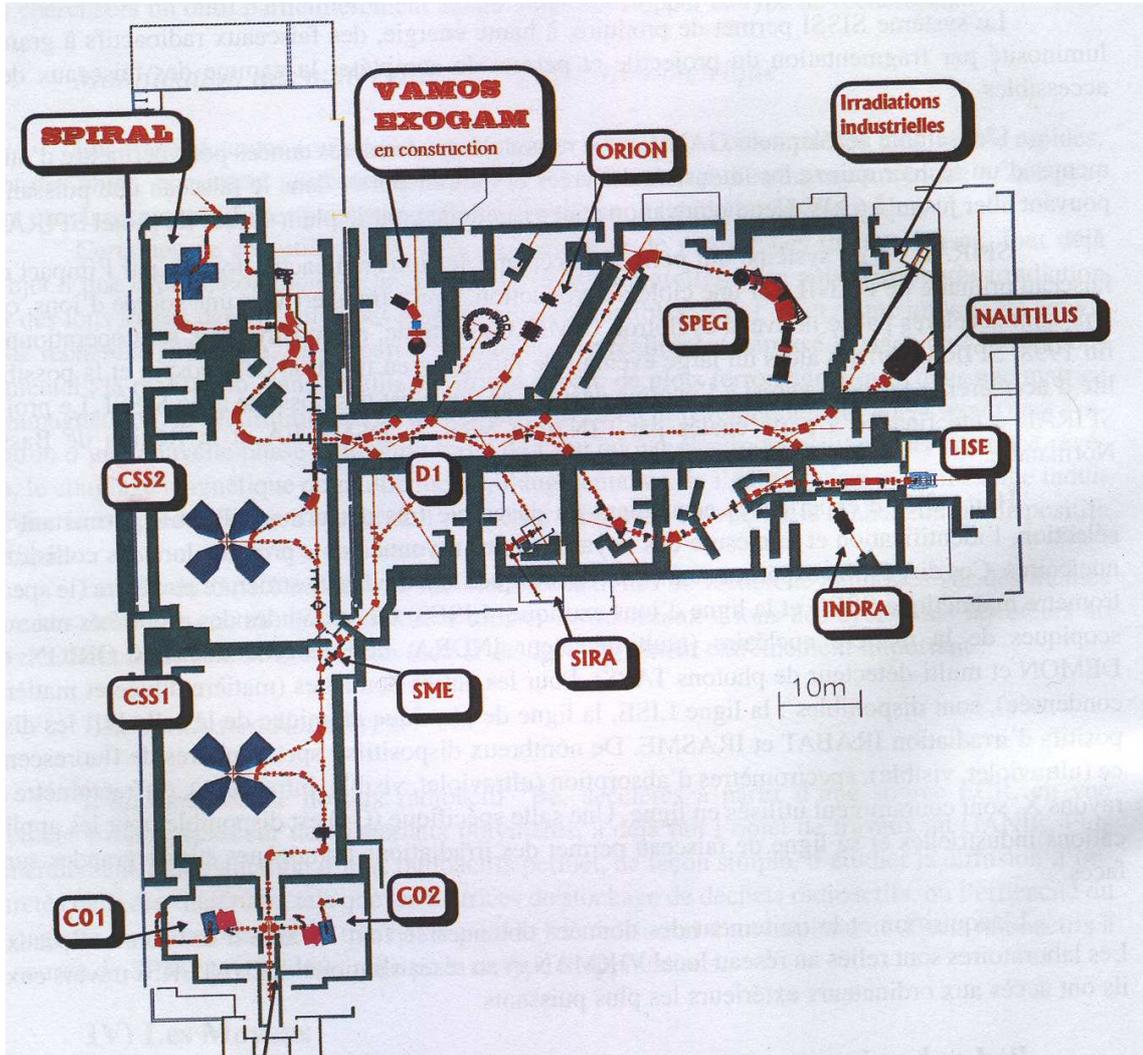
# ANNEXE 1

## ~ Plan général du GANIL et photographie aérienne



## ANNEXE 2

### ↳ Présentation du système accélérateur



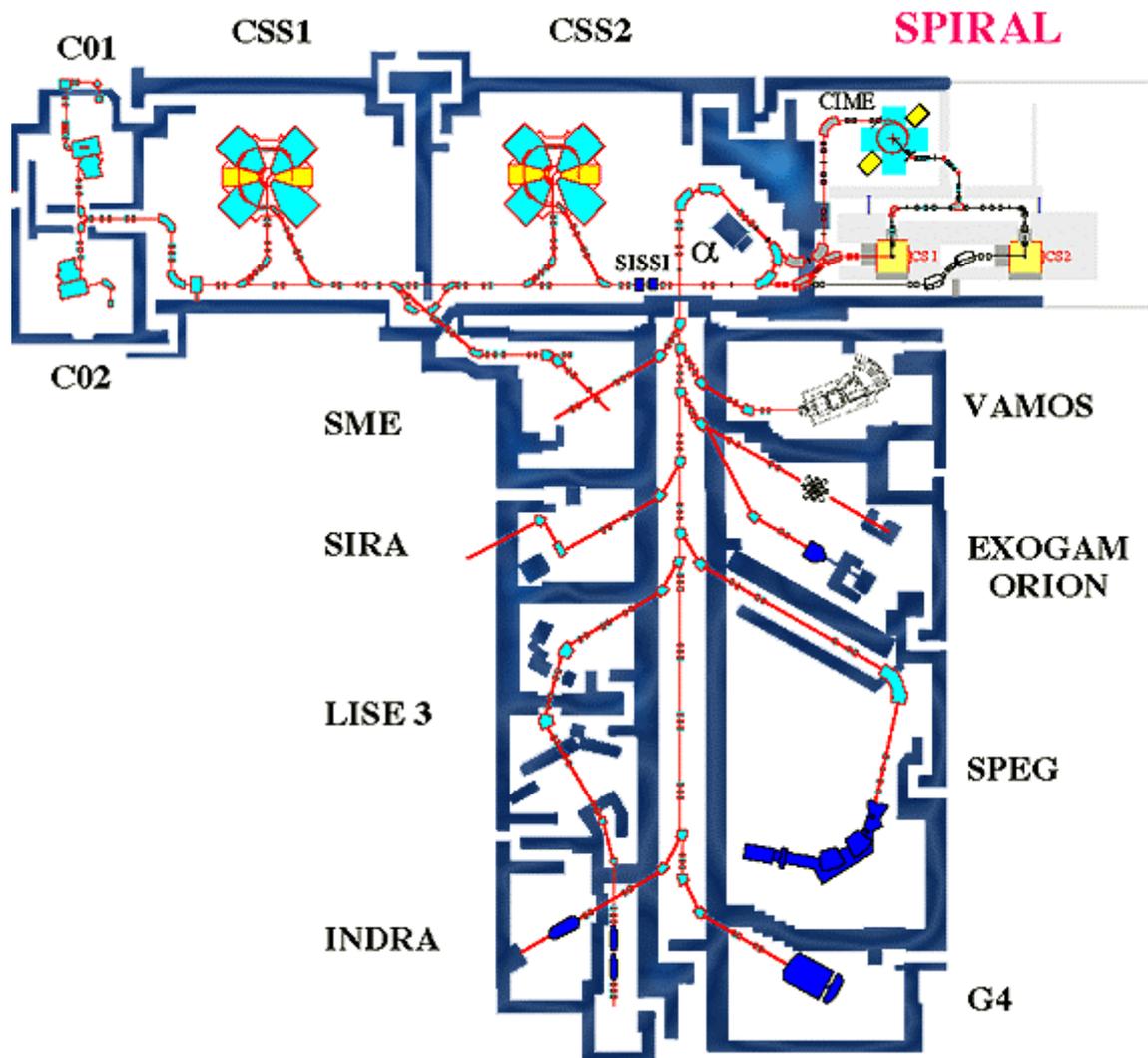
## ANNEXE 3

↳ Photographies des dispositifs expérimentaux ORION et LISE



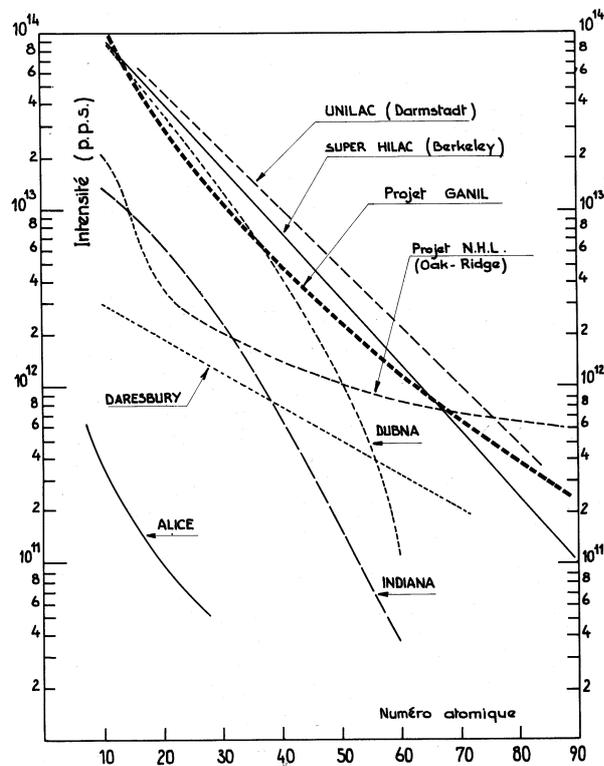
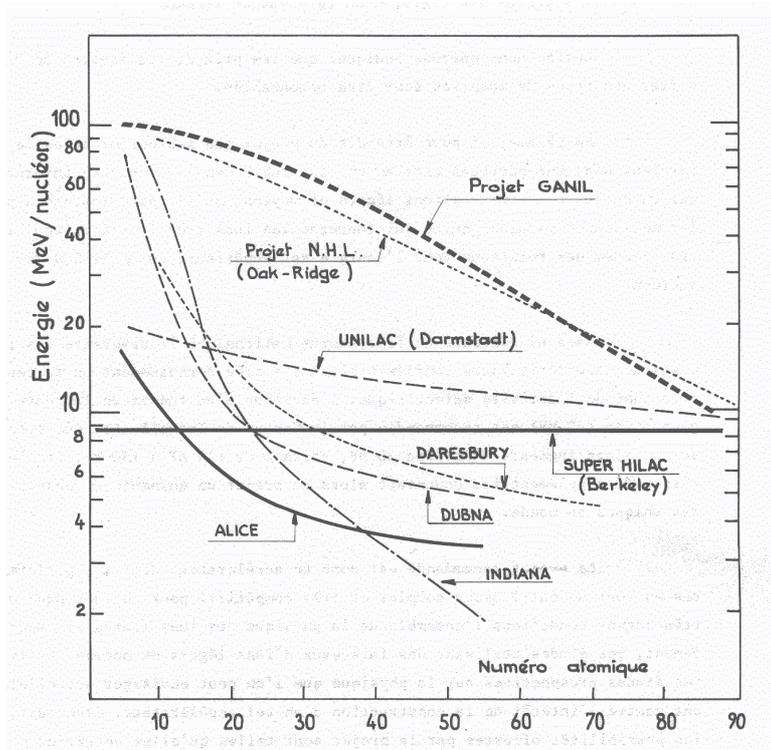
# ANNEXE 4

↳ Les aires expérimentales



# ANNEXE 5

## ~ Performances prévues du projet GANIL



# ANNEXE 6

## ↳ Plan initial du GANIL

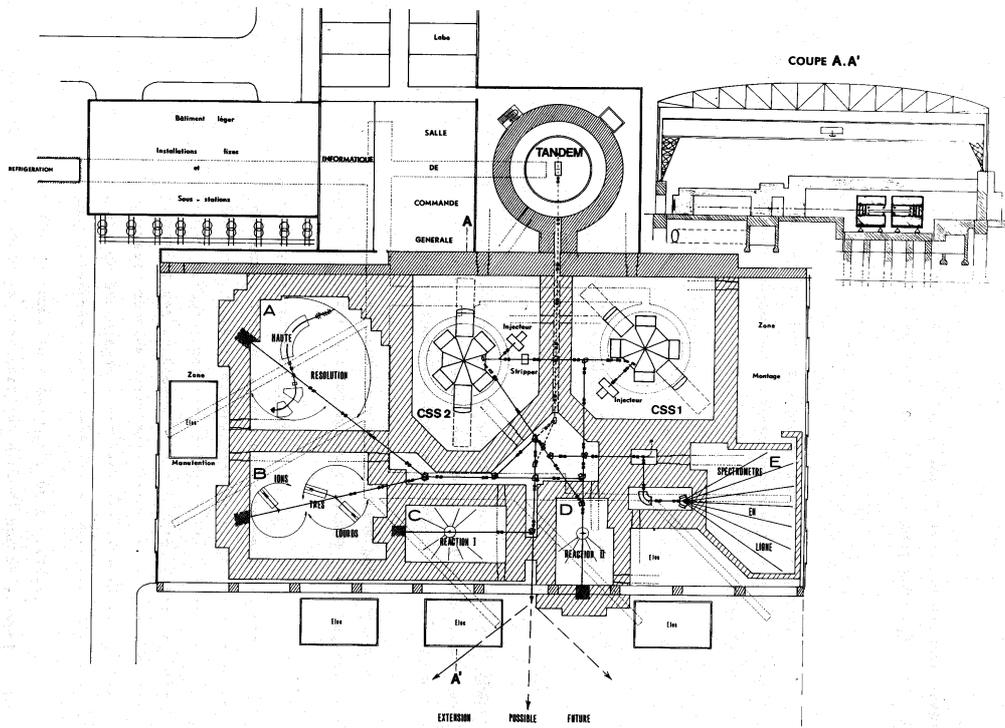


Fig. 14

Schéma général d'implantation du hall principal de l'accélérateur d'ions lourds et aires expérimentales. On a fait figurer sur ce plan l'extension tandem.

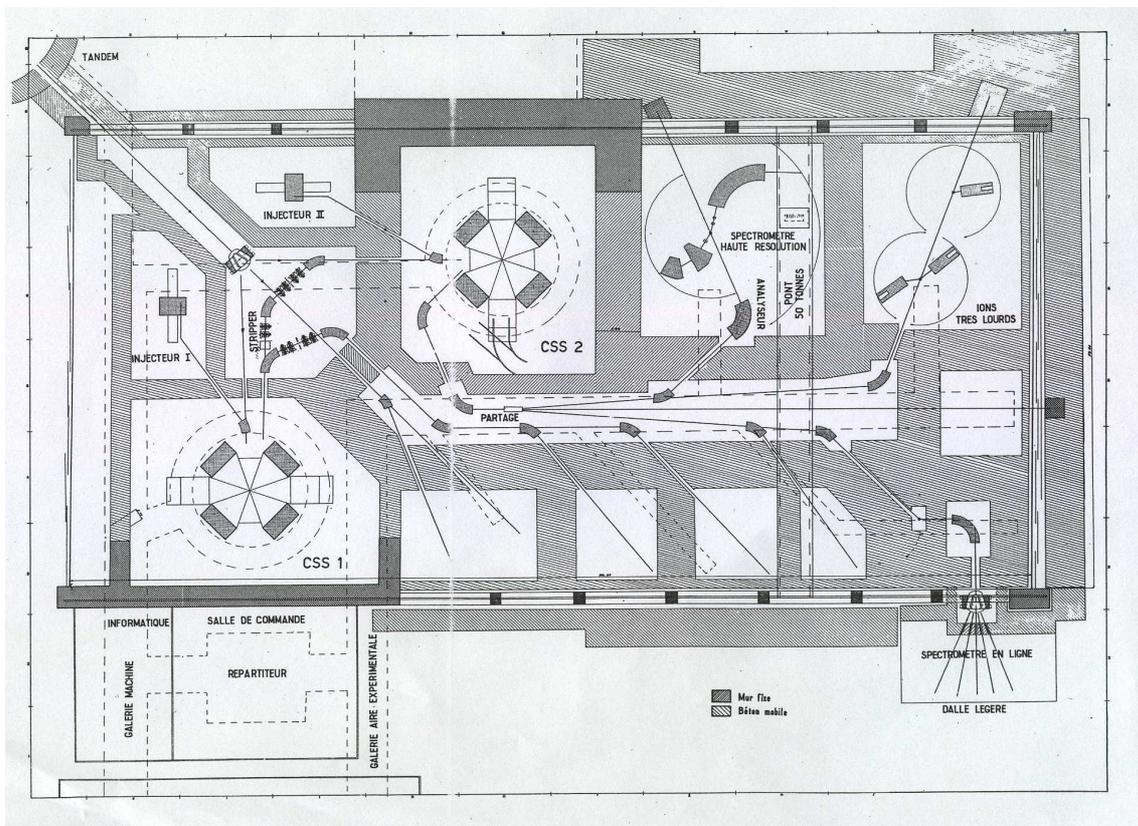
# ANNEXE 7

## ↳ Planning prévisionnel de la construction

| DÉSIGNATION   | 1973 | 1974 | 1975 | 1976  | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 |
|---|------|------|------|---|------|------|------|------|
| <b>Groupe Etude : formation - information.</b><br><b>Paramètres fondamentaux - Projet.</b><br><b>Aimants</b> {<br>maquettes<br>prototype<br>fabrication, livraison de<br>7 aimants - montages<br><b>Cavités et émetteurs HF.</b><br>maquettes<br>prototypes<br><b>Emetteurs - Cavités définitives.</b><br><b>Injection - Extraction CSS.</b> Etudes<br>Commande d'aimant - mesures sur prototype.<br><b>Pré-injecteur K25.</b><br>N° 1<br>N° 2<br><b>Commandes et contrôles.</b><br><b>Transport de faisceau.</b><br><b>Equipement expérimental.</b><br><b>Assemblage CSS 1.</b><br><b>CSS 2.</b><br><b>Assemblage général.</b><br><b>Bâtiment.</b> |      |      |      |   |      |      |      |      |
| <b>FINANCEMENT</b>  |      | 1,5  | 4    | 15  | 15   | 25   | 9,5  | 12   |
|   |      |      | 12   | 8   | 15   | 18   | 15   |      |
| <b>PERSONNEL</b>  | 15   | 20   | 20   | idem 1975 + personnel de montage et construction. |      |      |      |      |
|   | 1    | 25   | 30   |   |      |      |      |      |

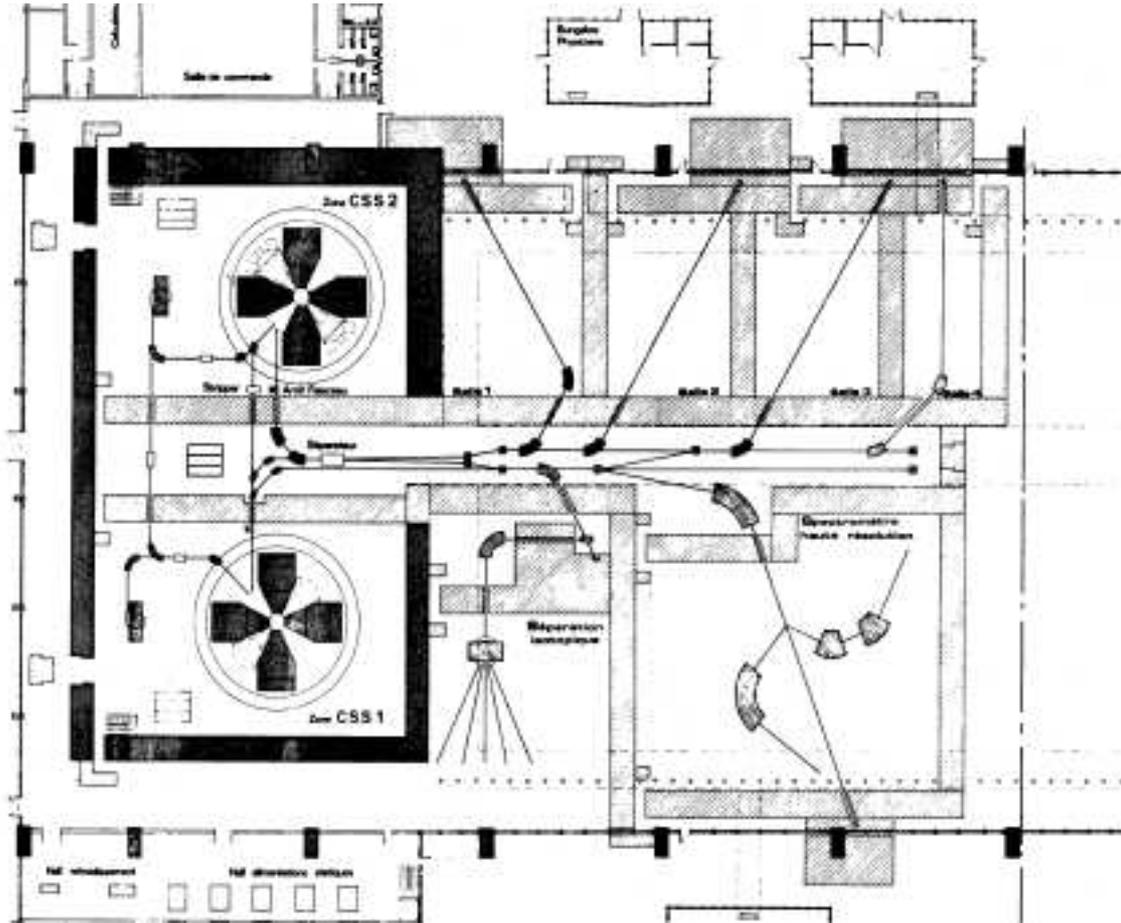
# ANNEXE 8

↳ Plan du GANIL, juillet 1974



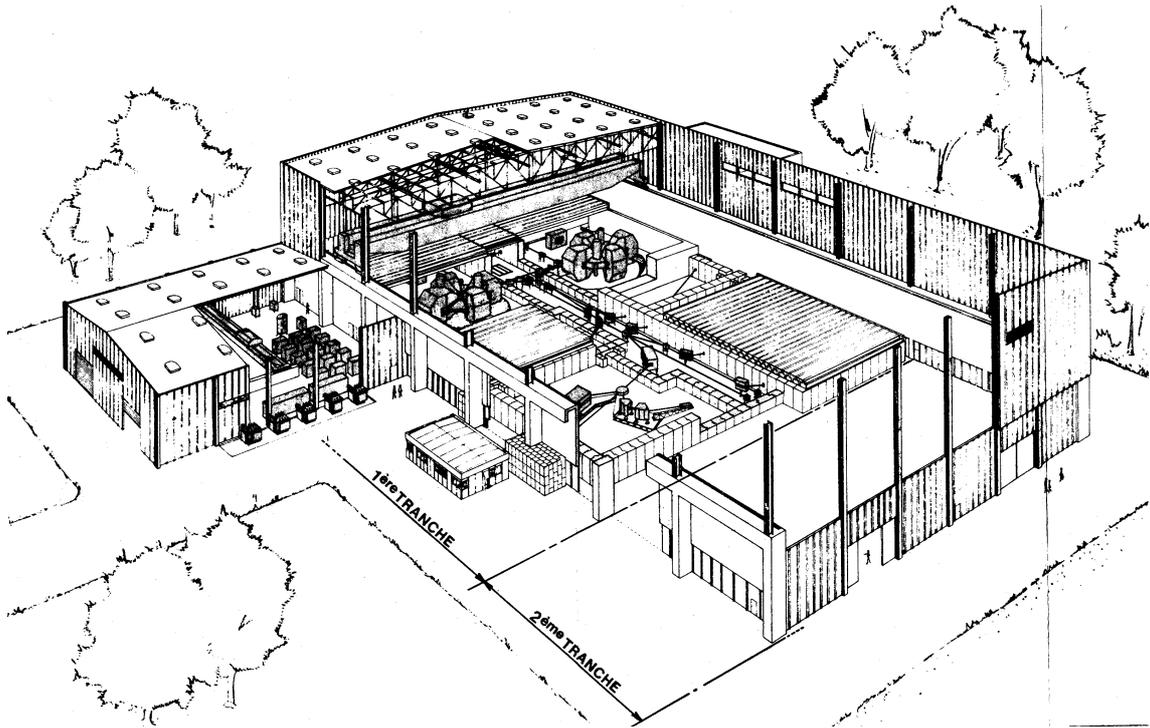
# ANNEXE 9

↳ Plan général du GANIL par la société Technicatome



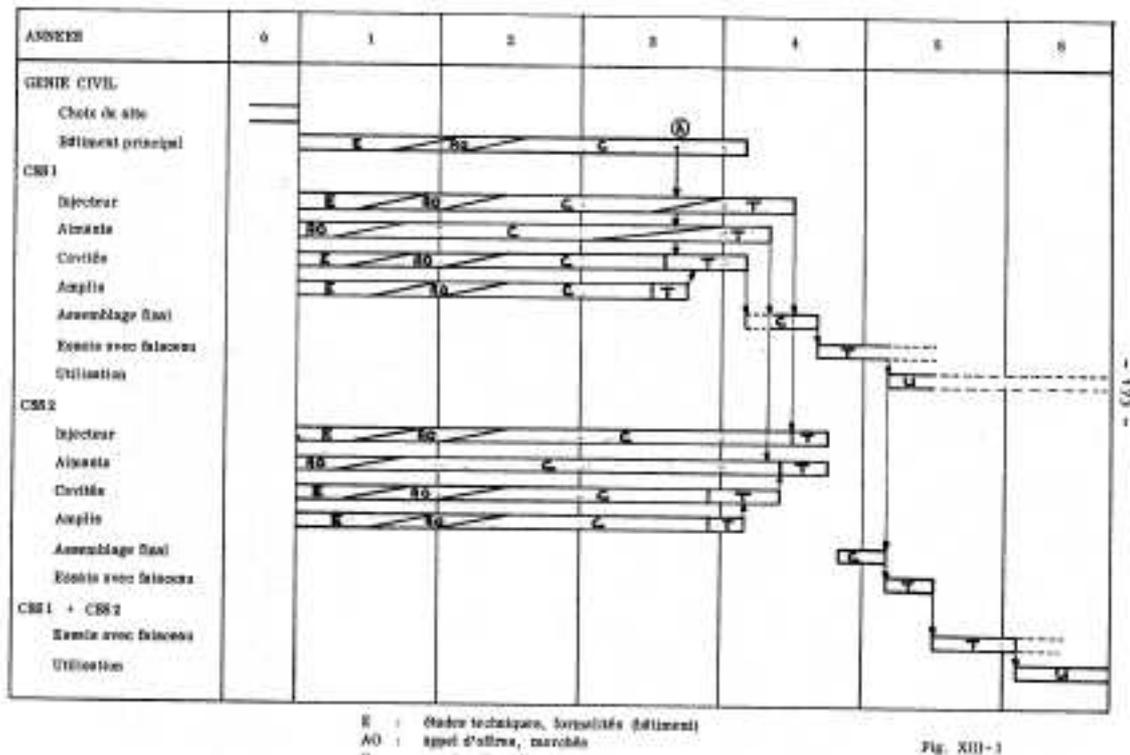
# ANNEXE 10

↪ Avant-projet de bâtiment principal



# ANNEXE 11

↳ Planning général de la construction, avril 1975



## ANNEXE 12

### ~ Questionnaire sur l'implantation du GANIL

#### I - SITE ET BATIMENTS

##### 1. Besoins

Le croquis indicatif joint donne une estimation de la superficie totale du terrain (20 hectares avec possibilité d'extension ultérieure à 30 hectares) ainsi que de la surface des bâtiments nécessaires (15.500 m<sup>2</sup> de plancher).

Parmi ces derniers, deux contraintes particulières doivent être signalées :

a) Bâtiment du TANDEM (n° 2)

C'est une tour de 60 mètres de hauteur.

b) Hall principal (n° 1)

La charge au sol doit être de 15/40 T/m<sup>2</sup> (15 en charge uniforme 40 en charge localisée).

##### 2. Questions

Sur la base des besoins ci-dessus exprimés, donner brièvement les indications suivantes :

a) Situation

b) Superficie (minimum 20 hectares, extension possible souhaitée sur 10 hectares)

c) Description topographique et géologique (le sol doit permettre de réaliser des bâtiments avec charge au sol 15/40 T/m<sup>2</sup>).

d) Populations et distances aux centres urbains voisins.

e) Environnement scientifique et technique.

f) Moyens de communications (voir ci-dessous 3).

g) Cadre géographique.

h) Proximité de centres de sports et de loisirs.

i) Nature du terrain.

j) Informations sur les risques divers : inondations, tremblements, affaissements, etc....)

k) Météorologie moyenne.

l) Eventuellement caractéristiques des bâtiments existants pouvant être "cédés" au laboratoire G.A.N.I.L. (dans des conditions à débattre c.f. IX).

### 3. Transports

- a) nature des liaisons (pour 1980), fréquence, distance et accessibilité à gare, aéroport ou autoroute ;
- autoroute
  - route
  - rail
  - air - national
  - air - international.
- b) préciser les distances et les liaisons (route, rail, air) existant :
- avec les grands centres urbains les plus voisins,
  - avec les Centres de Physique Nucléaire français : (Bordeaux, Clermont, Grenoble, Lyon, Orsay, Saclay, Strasbourg).
  - avec les Centres de Physique Nucléaire internationaux.

## II - ENERGIE ET FLUIDES

### 1. Besoins

La puissance électrique installée nécessaire est de 20 à 25 MW. Il n'y a pas à prévoir de fluctuations périodiques régulières de puissance (comme celles que l'on trouve par exemple auprès d'un accélérateur pulsé).

La capacité de refroidissement hydraulique devra correspondre à cette puissance maximale.

### 2. Questions

(Indiquer les puissances ou débits disponibles et les conditions imposées ou garanties).

#### a) Electricité

- Conditions techniques suivant lesquelles la fourniture d'énergie électrique pourra être faite (en particulier tension).
- Distance entre le site et le point de branchement au réseau général de l'E.D.F. et conditions suivant lesquelles l'antenne d'alimentation devra être réalisée (ligne aérienne ou souterraine).

b) eau de refroidissement

- La quantité disponible doit permettre d'évacuer 20 à 25 MW dans les conditions les plus économiques par exemple :

- . eau perdue sans tour de refroidissement : 2 m<sup>3</sup>/s pour un échauffement toléré de 3° ;
- . eau perdue avec tour de refroidissement 0,3 m<sup>3</sup>/s pour un échauffement toléré de quelques degrés ;
- . eau en circuit fermé avec tour de refroidissement et bassin.

c) Qualité de l'eau.

d) Eau potable (20 000 m<sup>3</sup>/an).

e) Liaisons téléphoniques.

f) Fluides cryogéniques (azote, hydrogène, hélium liquides).

III - COUT DES INSTALLATIONS (première estimation destinée à fixer les ordres de grandeur).

1) Coût du terrain.

2) Coût de la mise en état du terrain.

3) Coût des raccordements :

- . voirie
- . électricité
- . eau
- . égout
- . téléphone.

4) Viabilité

IV - SERVICES PUBLICS ET REGLEMENTS LOCAUX

1) Règlements d'urbanisme.

2) Risques de voisinage.

3) Difficultés de circulation.

4) Existence de Services de Sécurité

- . pompiers
- . premiers secours
- . hôpitaux

V - NATURE ET VOLUME DES AIDES TECHNIQUES OU SCIENTIFIQUES POUVANT ETRE  
PROCUREES AU CENTRE

- 1) Calculateurs (types, capacité de mémoire, possibilités de terminaux...)
- 2) Sous-traitance mécanique et électronique
- 3) Protection contre les radiations.
- 4) Centres de documentation et bibliothèques.
- 5) Collaborations avec d'autres centres de recherche :
  - . existantes
  - . prévues.
- 6) Proximité d'une université.
- 7) Divers.

VI - STRUCTURE ET POSSIBILITES D'ACCUEIL

L'ordre de grandeur du personnel directement affecté au G.A.N.I.L. : ingénieurs, techniciens, administratifs, physiciens, sera de 200 personnes en régime de croisière (50 % pour la physique : physiciens et techniciens, 50 % pour la machine : conduite de la machine, supports technique et administratif). Pendant la phase construction, on peut prévoir environ 120 personnes pour le montage et le soutien administratif et l'installation progressive de 50 personnes pour la physique (physiciens et techniciens).

Ceci n'inclut pas les entreprises extérieures présentes sur le chantier, ni le personnel de soutien non directement affecté à la machine (atelier, calcul, documentation, médical, secours incendie, surveillance du rayonnement,...) c'est-à-dire les services décrits en VII et VIII qui pourraient à la limite être intégralement fournis par des laboratoires ou entreprises déjà existants sur place.

- 1) Infrastructure d'habitation.
- 2) Relations avec les autorités locales et régionales.
- 3) Relations avec la population.
- 4) Possibilités d'accueil (indiquer les distances moyennes par rapport au site et les diverses possibilités offertes)
  - . logements, locations,
  - . petits logements et chambres d'accueil . pour quelques jours
  - . pour un mois
  - . pour un an.

- . hôtels pour chercheurs.
- . restaurants et cantines.

5) Possibilités de travail extérieur au Centre pour épouses ou maris au voisinage.

6) Environnement socio-culturel (nature et distance au site et à la zone résidentielle)

- . Collèges et Lycées.
- . Université et Etablissement d'Enseignement Supérieur.
- . Equipements culturels (bibliothèques, théâtres, musées, salle de concerts, etc...).

VII - POUR LA PERIODE D'INSTALLATION, INDIQUER LES POSSIBILITES QUI POURRAIENT ETRE TROUVEES SUR PLACE OU A UNE DISTANCE RAISONNABLE.

1) L'aide trouvée sur place peut revêtir plusieurs formes :

- Aide d'un (ou plusieurs) laboratoire hôte sous une forme contractuelle à préciser : prestations gratuites, sur facturation intégrale ou partielle, mise à disposition de personnel gratuitement ou sur facturation.
- Aide d'autres organismes publics ou privés voisins ou à distance raisonnable.

2) Description des soutiens techniques souhaités.

- a) Sous-traitance technique : dessin, mécanique, électronique, documentation...
- b) Travaux administratifs : frappe, reproduction de documents, passation de contrats...
- c) Services médicaux.
- d) Services d'accueil
  - . logements
  - . cantines
- e) Services de sécurité (incendie, ambulance, décontamination).
- f) Service de transports (personnel et matériel).
- g) Mise à disposition provisoire de bâtiments
  - . nature
  - . surface
  - . situation



# ANNEXE 13

## ↳ Contrat constitutif du GIE GANIL

### CONTRAT DE GROUPEMENT D'INTERET ECONOMIQUE

régi par l'ordonnance du 23 septembre 1967

Entre les soussignés :

- Le COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE, établissement de caractère scientifique, technique et industriel dont le siège est à PARIS (15ème), rue de la Fédération, n° 31-33, ci-après dénommé le C. E. A.

représenté par M. Jules HOROWITZ  
soussigné,

d'une part,

- L'INSTITUT NATIONAL DE PHYSIQUE NUCLEAIRE ET DE PHYSIQUE DES PARTICULES, établissement public de l'Etat à caractère administratif, institut national du Centre National de la Recherche Scientifique, dont le siège est à PARIS (5ème), 11 rue Pierre et Marie Curie, ci-après dénommé l'IN<sub>2</sub>P<sub>3</sub>

représenté par M. Jean YOCCOZ  
soussigné,

d'autre part,

il est établi ainsi qu'il suit un contrat de groupement d'intérêt économique sans capital.

#### TITRE I

##### ARTICLE 1 - FORME

Il est formé entre les soussignés et toutes les personnes qui adhéreront ultérieurement au présent contrat un groupement d'intérêt économique régi par l'ordonnance n° 67-821 du 23 septembre 1967 et tous textes subséquents ainsi que par le présent contrat.

##### ARTICLE 2 - OBJET

Le groupement a pour objet de mettre en commun les connaissances, les expériences et les moyens techniques de ses membres en vue de leur permettre d'étudier, de réaliser et ultérieurement d'exploiter un accélérateur national d'ions lourds situé à CAEN et d'une manière générale, d'effectuer toutes opérations se rattachant directement ou indirectement à cet objet.

.../...

Enregistré à CAEN - NORD  
le 24 JANV 1975  
Bord. 33 No H  
Reçu  
24

### ARTICLE 3 - DENOMINATION

Le groupement a pour dénomination :

"Grand accélérateur national d'ions lourds" et pour sigle : "GANIL".

Cette dénomination, suivie de la mention "Groupement d'intérêt économique régi par l'ordonnance du 23 septembre 1967" devra figurer sur tous les actes et documents émanant du Groupement et destinés aux tiers.

### ARTICLE 4 - SIEGE

Le siège du groupement est fixé au Centre Tertiaire de la Porte de Nacre - Bâtiment A - avenue de la Côte de Nacre - 14000 CAEN.

Il pourra être transféré en tout autre lieu par décision de l'assemblée des membres du groupement.

### ARTICLE 5 - DUREE

Le Groupement est constitué pour une durée de trente années à compter de la date de son immatriculation au registre du commerce, sauf dissolution anticipée ou prorogation décidée par l'assemblée des membres du Groupement.

## TITRE II

### DROITS ET OBLIGATIONS DES MEMBRES

#### ARTICLE 6 - REPARTITION ET RESPONSABILITE

Le Groupement est constitué sans capital. En conséquence, les droits de chacune des parties dans le Groupement ne seront pas représentés par des parts, mais par des droits contractuels attribués à chacun d'eux - ainsi qu'il est indiqué à l'alinéa suivant-, le pourcentage de chacun des membres par rapport à l'ensemble du Groupement servant de base à l'établissement de ses droits et obligations quant à sa participation aux opérations réalisées par le Groupement et lui donnant droit également à un vote proportionnel aux Assemblées du Groupement.

Les pourcentages des droits des membres fondateurs sont les suivants :

|                                  |      |
|----------------------------------|------|
| - C. E. A.                       | 50 % |
| - IN <sub>2</sub> P <sub>3</sub> | 50 % |

Cette répartition pourra être modifiée en application des articles 9 et 10 ci-dessous.

Les membres du Groupement sont tenus des dettes de celui-ci sur leur patrimoine propre. Ils sont solidaires, sauf convention contraire avec le tiers co-contractant.

Les créanciers du Groupement ne peuvent poursuivre le paiement des dettes contre un membre, qu'après avoir vainement mis en demeure le Groupement par acte extrajudiciaire.

Dans leurs rapports entre eux, les membres du Groupement ne sont tenus des dettes du Groupement qu'au prorata de leurs droits contractuels respectifs.

#### ARTICLE 7 - FINANCEMENT

Les memores du Groupement s'engagent à contribuer dans les proportions fixées à l'article 6 ci-dessus, au fonds de roulement et à toutes les dépenses nécessaires à l'accomplissement de l'objet social.

Une trésorerie sera constituée au prorata des droits contractuels des membres. Les appels de fonds seront effectués par le Président du Comité de direction, après accord dudit Comité.

Le Groupement pourra faire appel à des concours extérieurs pour financer ses opérations.

#### ARTICLE 8 - REGLEMENT INTERIEUR

Un règlement intérieur, qui s'imposera à tous les membres du Groupement, sera établi et soumis à l'approbation de l'Assemblée des membres statuant à l'unanimité. Ce règlement déterminera les modalités de fonctionnement du Groupement qui ne sont pas prévues dans le présent contrat, et notamment les conditions dans lesquelles le personnel pourrait être mis à la disposition du Groupement par le C. E. A. et l'IN<sub>2</sub>P<sub>3</sub>. Il pourra être modifié par décision de l'Assemblée des membres statuant à l'unanimité.

#### TITRE III

#### ARTICLE 9 - ADMISSION DE NOUVEAUX MEMBRES

Au cours de son existence, le Groupement peut accepter de nouveaux membres par décision de l'assemblée des membres prise à l'unanimité.

#### ARTICLE 10 - RETRAIT

10.1 Avant la fin de la phase de construction, un membre du Groupement ne peut se retirer qu'avec l'accord du ou des autres membres.

10.2 Le membre désireux de se retirer du Groupement notifie son intention aux autres membres au moins deux ans à l'avance, par lettre recommandée avec accusé de réception.

#### TITRE IV

#### ASSEMBLEES

#### ARTICLE 11 - CONVOCATION ET TENUE DES ASSEMBLEES

L'Assemblée du Groupement est composée de tous les membres du Groupement.

.../...

L'assemblée des membres se réunit chaque fois que cela est nécessaire et au moins une fois par année, au cours du premier semestre, pour statuer sur les comptes de l'exercice écoulé.

Elle est convoquée par le Président du Comité de direction agissant soit spontanément, soit à la demande de tout membre du Groupement.

Si le Président du Comité de direction n'a pas procédé à cette convocation dans un délai de huit jours après cette demande, le membre visé ci-dessus pourra procéder directement à la convocation. Dans les mêmes conditions, il pourra requérir l'inscription d'une question à l'ordre du jour.

La convocation est adressée à chaque membre, au moins quinze jours à l'avance par lettre recommandée avec avis de réception. Elle indique l'ordre du jour de l'Assemblée. Toutefois, en cas d'urgence, les membres pourront être convoqués verbalement sans respecter ce délai et l'Assemblée sera valable du moment que tous les membres y seront présents ou représentés.

Les assemblées peuvent toutefois être réunies sans qu'il soit besoin de convocation si tous les membres du Groupement sont présents ou représentés.

Tous les documents soumis à l'Assemblée seront tenus à la disposition des membres à partir du jour de la convocation.

Tout membre peut prendre part aux assemblées et dispose d'autant de voix qu'il possède ou représente de droits contractuels de participation.

Toutes les décisions se prennent à l'unanimité des membres.

L'assemblée se réunit en tous endroits fixés par la convocation. Elle élit elle-même son Président parmi les représentants de ses membres.

Les délibérations des assemblées sont constatées par des procès-verbaux signés par les membres. Ces procès-verbaux indiquent la date et le lieu de la réunion, le mode de convocation, l'ordre du jour, le nom et la qualité du Président, les documents et rapports soumis à l'assemblée, un résumé des débats, le texte des résolutions mises aux voix et le résultat du vote.

Les procès-verbaux sont établis sur un registre spécial tenu au Siège du Groupement. Les copies ou extraits des procès-verbaux des assemblées sont valablement certifiés soit par un membre, soit par le Président du Comité de direction. En cas de liquidation du Groupement, ils sont valablement certifiés par un seul liquidateur.

## TITRE V

### ADMINISTRATION

#### ARTICLE 12 - COMITE DE DIRECTION

12.1 A l'égard des membres, le Groupement est administré par un Comité de direction composé de quatre à dix membres nommés par l'assemblée, la moitié étant proposée par le C. E. A. et l'autre moitié par

l'IN<sub>2</sub>P<sub>3</sub>. Les personnes physiques qui représentent les membres du Groupement à l'assemblée des membres sont de droit, alternativement et pour une durée d'un an, président et vice-président du Comité de direction.

12.2 Le Comité de direction devra se réunir aussi souvent que l'intérêt du Groupement l'exige, à la demande de son Président ou de deux membres du Comité de direction.

Les contrôleurs de gestion devront être convoqués et pourront assister, avec voix consultative, à toutes les réunions du Comité de direction.

12.3 Le Comité de direction a notamment pour mission :

- de définir la politique d'action et les orientations du Groupement ;
- d'approuver le budget du groupement ainsi que les modes de financement.

12.4 Chaque membre du Comité de direction dispose d'une voix. Les décisions du Comité sont prises à la majorité des membres du Comité présents ou représentés, étant précisé que cette majorité devra comprendre obligatoirement le Président et le vice-président. Les membres du Comité peuvent se faire représenter par un autre membre moyennant une procuration spéciale, étant entendu que chaque membre ne pourra recevoir qu'une seule procuration.

12.5 Les délibérations du Comité de direction sont constatées par des procès-verbaux reproduits sur un registre spécial, chaque procès-verbal étant signé par au moins deux de ses membres.

### ARTICLE 13 - ADMINISTRATEUR

#### 13.1 Nomination - Cessation de fonctions

Les fonctions d'administrateur, au sens de l'ordonnance n° 67-821 du 23 septembre 1967, sont exercées par le Président du Comité de direction, personne physique.

Le Président du Comité de direction est nommé par l'assemblée des membres du Groupement, alternativement et pour une durée d'un an, parmi les personnes physiques qui représentent les membres du Groupement à ladite assemblée. L'assemblée fixe également sa rémunération éventuelle.

Le Président du Comité de direction peut donner sa démission à tout moment, en prévenant les membres du Groupement au moins trois mois à l'avance. Toutefois, il ne pourra recevoir quitus de sa gestion qu'après approbation des comptes de l'exercice au cours duquel est intervenue sa démission.

En cas de démission, de décès, d'incapacité ou de révocation du Président du Comité de direction, il sera pourvu aussitôt que possible à son remplacement.

### 13.2 Attributions

Le Président du Comité de direction agit en toutes circonstances au nom du Groupement ; il exerce ses pouvoirs dans la limite de l'objet du Groupement.

A l'égard des tiers, il engage le Groupement par tout acte entrant dans l'objet de celui-ci.

A l'égard des membres, il est tenu de se conformer aux directives générales ou particulières qu'il recevra de l'assemblée des membres et du Comité de direction.

Le Président du Comité de direction peut, sous sa responsabilité, donner à toute personne de son choix, une délégation de pouvoirs spéciale ou temporaire, notamment au directeur du Groupement.

### ARTICLE 14 - DIRECTEUR

Le C. E. A. et l'IN<sub>2</sub>P<sub>3</sub> proposent au comité de direction la nomination du directeur et du directeur-adjoint. Si le directeur nommé par le comité de direction a été proposé par le C. E. A., le directeur-adjoint est obligatoirement proposé par l'IN<sub>2</sub>P<sub>3</sub>, et inversement.

Le directeur et le directeur-adjoint sont chargés, sous l'autorité du Président du comité de direction, de la gestion courante du Groupement.

## TITRE VI

### CONTROLES

### ARTICLE 15 - CONTROLE DE LA GESTION

15.1 Le contrôle de la gestion est assuré par deux contrôleurs, personnes physiques, proposés l'un par le C. E. A. et l'autre par l'IN<sub>2</sub>P<sub>3</sub> et nommés par l'assemblée des membres.

La durée de la mission des contrôleurs de gestion est fixée par l'assemblée et leur fonction est incompatible avec celle de membre du Comité de direction.

15.2 Les contrôleurs de gestion ont tous pouvoirs d'investigation pour fonder leur appréciation sur la gestion et les actes du Président du Comité de direction ; mais en aucun cas, ils ne peuvent accomplir eux-mêmes des actes de gestion, ni s'immiscer d'une manière quelconque dans les fonctions de Président du Comité de direction.

### ARTICLE 16 - CONTROLE DES COMPTES

16.1 Le contrôle des comptes est assuré par une commission de contrôle composée de deux à quatre contrôleurs nommés par l'assemblée des membres, la moitié de ceux-ci étant proposée par le C. E. A. et l'autre moitié par l'IN<sub>2</sub>P<sub>3</sub>.

.../...

Les fonctions de contrôleurs des comptes sont incompatibles avec celles de membre du Comité de direction ou de contrôleur de la gestion. Elles ne sont pas rémunérées.

16.2 Les contrôleurs des comptes certifient la régularité et la sincérité des comptes du groupement.

A cet effet, ils ont pour mission, à l'exclusion de toute immixtion dans la gestion du groupement, de vérifier à la clôture de l'exercice les livres et valeurs du Groupement et de contrôler la régularité de ses comptes. S'il y a lieu, ils portent à la connaissance du Président du Comité de direction et des contrôleurs de la gestion, le résultat de leurs investigations et de leurs observations.

Une fois par an, ils établissent un rapport sur l'accomplissement de leur mission qu'ils présentent à l'assemblée des membres devant approuver les comptes de l'exercice écoulé.

#### ARTICLE 17 - CONTROLE DES MARCHES

Le contrôle des marchés est assuré par une Commission des marchés dans des conditions définies par accord entre les administrations intéressées.

### TITRE VII

#### DISPOSITIONS DIVERSES

#### ARTICLE 18 - EXERCICE

L'exercice commence le 1er janvier de chaque année et se termine le 31 décembre.

Toutefois, le premier exercice commencera le jour de l'immatriculation du Groupement au registre du commerce et se terminera le 31 décembre de l'année suivante.

#### ARTICLE 19 - PERSONNEL

Pour l'accomplissement de l'objet du présent contrat, chaque membre du Groupement mettra à la disposition de celui-ci le personnel nécessaire en nombre et en qualification, conformément à son pourcentage de participation tel qu'il est défini à l'article 6.

En conséquence, le groupement ne procédera à aucun recrutement de personnel propre.

#### ARTICLE 20 - DISSOLUTION

La dissolution qui s'effectue conformément à l'article 13 de l'ordonnance n° 67-821 du 23 septembre 1967, ne produit ses effets à l'égard des tiers qu'à compter de la date à laquelle elle a été régulièrement publiée.

## ARTICLE 21 - LIQUIDATION

21.1 Le Groupement est en liquidation dès l'instant de sa dissolution pour quelque cause que ce soit.

La personnalité du Groupement subsiste pour les besoins de la liquidation. Toutefois, les pouvoirs du Président du Comité de direction prennent fin à partir de la date de la dissolution du Groupement. Durant la liquidation, les contrôleurs des comptes restent en fonction jusqu'à la clôture des opérations de la liquidation.

21.2 La liquidation est effectuée par un liquidateur désigné par l'assemblée des membres.

La liquidation s'opère en suivant les prescriptions des articles 393 à 400 alinéa 1er de la loi n° 66-537 du 24 juillet 1966.

21.3 Après paiement des dettes et reprise par chaque membre de ses apports, l'excédent d'actif sera réparti entre les membres dans la proportion prévue à l'article 6 du présent contrat.

## ARTICLE 22 - CONTESTATIONS

Les parties s'efforcent de résoudre à l'amiable les contestations qui pourraient surgir pour l'interprétation et l'exécution des clauses du présent contrat et font éventuellement appel au Comité de coordination de la recherche en physique nucléaire et en physique des particules institué par l'arrêté interministériel du 25 avril 1972.

En cas de désaccord persistant, le litige est porté devant les tribunaux compétents.

## ARTICLE 23 - POUVOIRS

Tous pouvoirs sont donnés au porteur d'un original ou d'une copie certifiée conforme au présent contrat, à l'effet d'accomplir les formalités et publications prévues par la loi, partout où besoin sera.

Fait à PARIS , le 19 janvier 1976  
en six originaux dont un pour l'enregistrement

Pour le C. E. A.

*Lu et approuvé*  
*J. Slonovitz*

J. SLONOVITZ

Pour l'IN<sub>2</sub>P<sub>3</sub>

*Lu et approuvé*  
*J. Yoccoz*

J. YOCOZ

# ANNEXE 14

~ Extrait du registre du commerce, immatriculation du GIE GANIL

## GRAND ACCELERATEUR NATIONAL D'IONS LOURDS

et pour sigle : "GANIL"



Date de l'immatriculation : 20 FEVRIER 1976

Groupement d'intérêt économique régi par l'ordonnance n°67-821 du 23 SEPTEMBRE 1967.

Capital : NEANT

Adresse du siège : CAEN, Centre tertiaire de la Porte de Nacre - Bâtiment A, Avenue de la Côte de Nacre.

Durée : 30 années à compter du 20 FEVRIER 1976

Objet : Le groupement a pour objet de mettre en commun les connaissances, les expériences et les moyens technique de ses membres en vue de leur permettre d'étudier, de réaliser, et ultérieurement d'exploiter un accélérateur national d'ions lourds situé à Caen, et d'une manière générale, d'effectuer toutes opérations se rattachant directement ou indirectement à cet objet.

L'activité exercée par le groupement n'est pas commerciale

Dépôt au Greffe le 18 FEVRIER 1976

B.O.D.A.C. N° : DU : 10 MAI 1976

MEMBRES DU GROUPEMENT D'INTERET ECONOMIQUE : Personnes morales :

■ Société " Institut National de Physique nucléaire et physique des particules " Etablis. public, siège : 11, rue Pierre et Marie CURIE, PARIS 7ème, objet : recherches en physique nucléaire et physique des particules, société représentée par M. Jean YOCCOZ.

■ Société " Commissariat à l'énergie atomique " Etablis. de caractère scientifique technique et industriel, siège 31 - 33 rue de la Fédération PARIS 15ème, objet : recherche et industrie nucléaires, société représentée par Monsieur Jules HOROWITZ.

ADMINISTRATION DU GROUPEMENT D'INTERET ECONOMIQUE :

ADMINISTRATEURS : Monsieur YOCCOZ Jean, né le 13R FEVRIER 1925 à CHAMBERY (73) nationalité française, demeurant Centre Résidentiel du CNRS route de Chateau-Fort, 91190 GIF su Yvette.

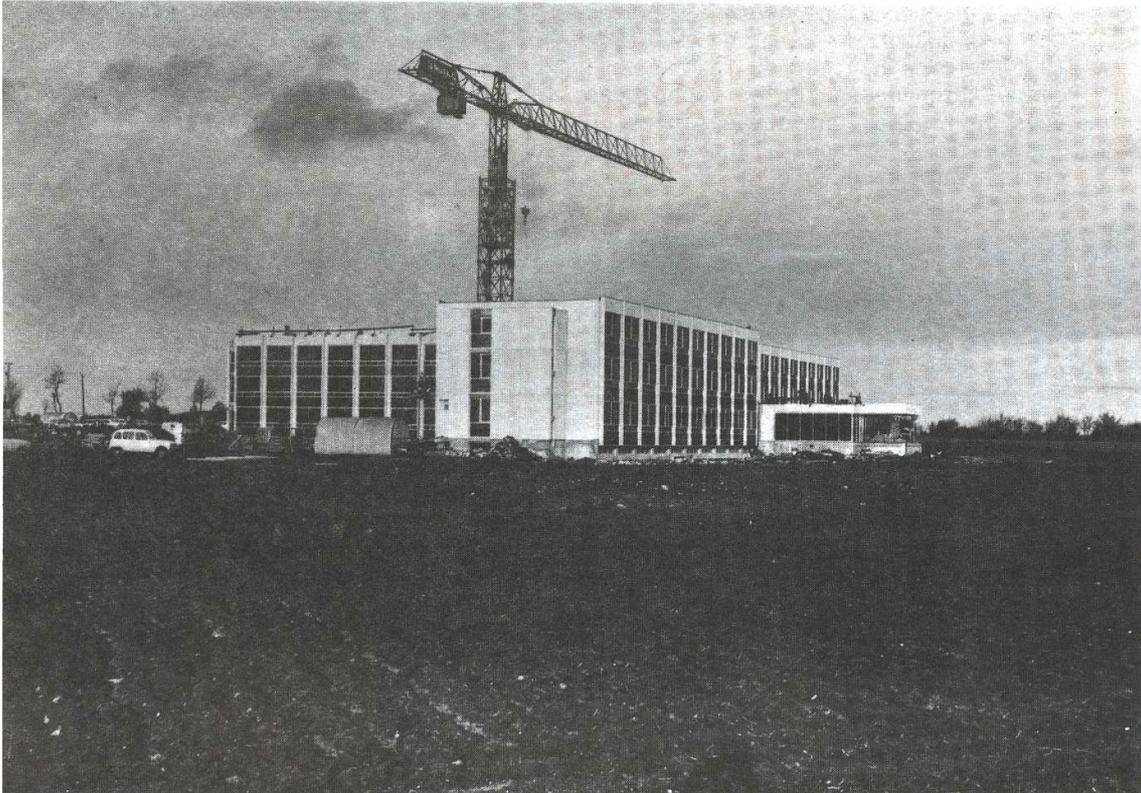
- Monsieur HOROWITZ Juliusz, Jakub, né le 3 OCTOBRE 1921 à RZESZOW (Pologne) nationalité française par naturalisation, demeurant 15 Rue Philibert Delorme PARIS 17ème.

997 888 300 C.R.C. (caen)

Chrono : 390 - R.C. 76 U 2

## ANNEXE 15

↪ Photographie de la construction du bâtiment ingénieurs



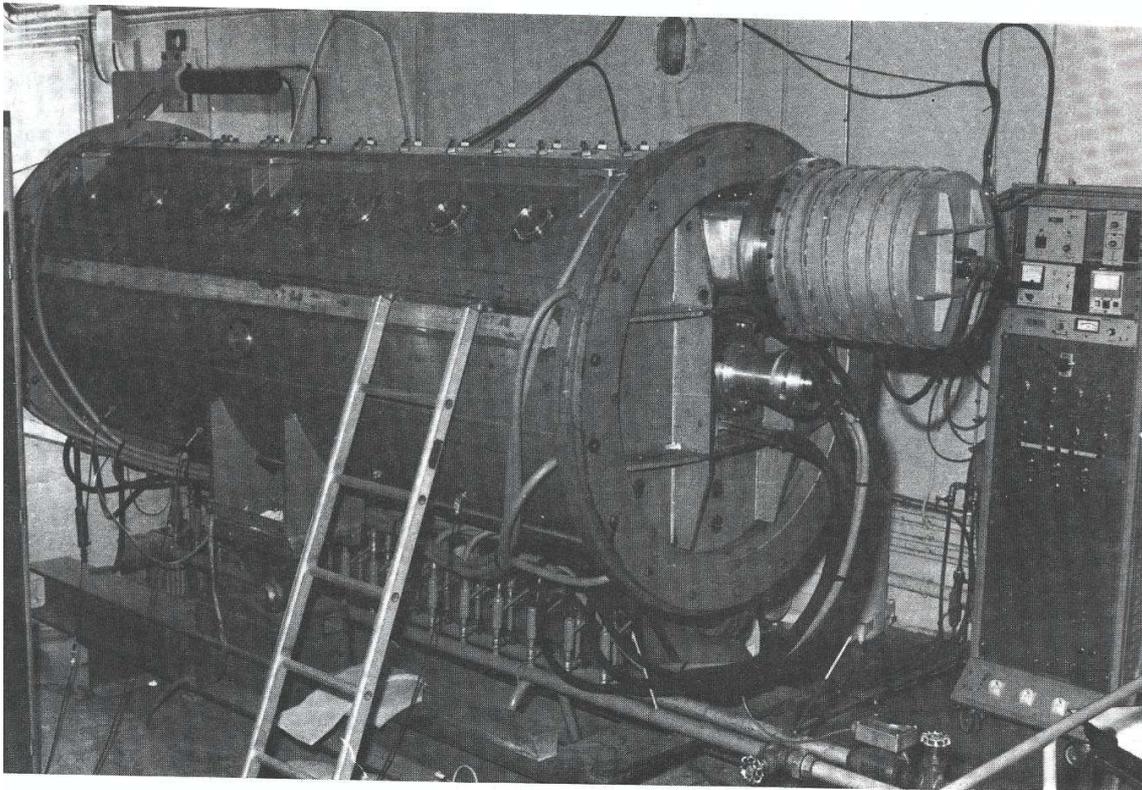
## ANNEXE 16

↳ Photographie de la maquette d'un des secteurs de CSS



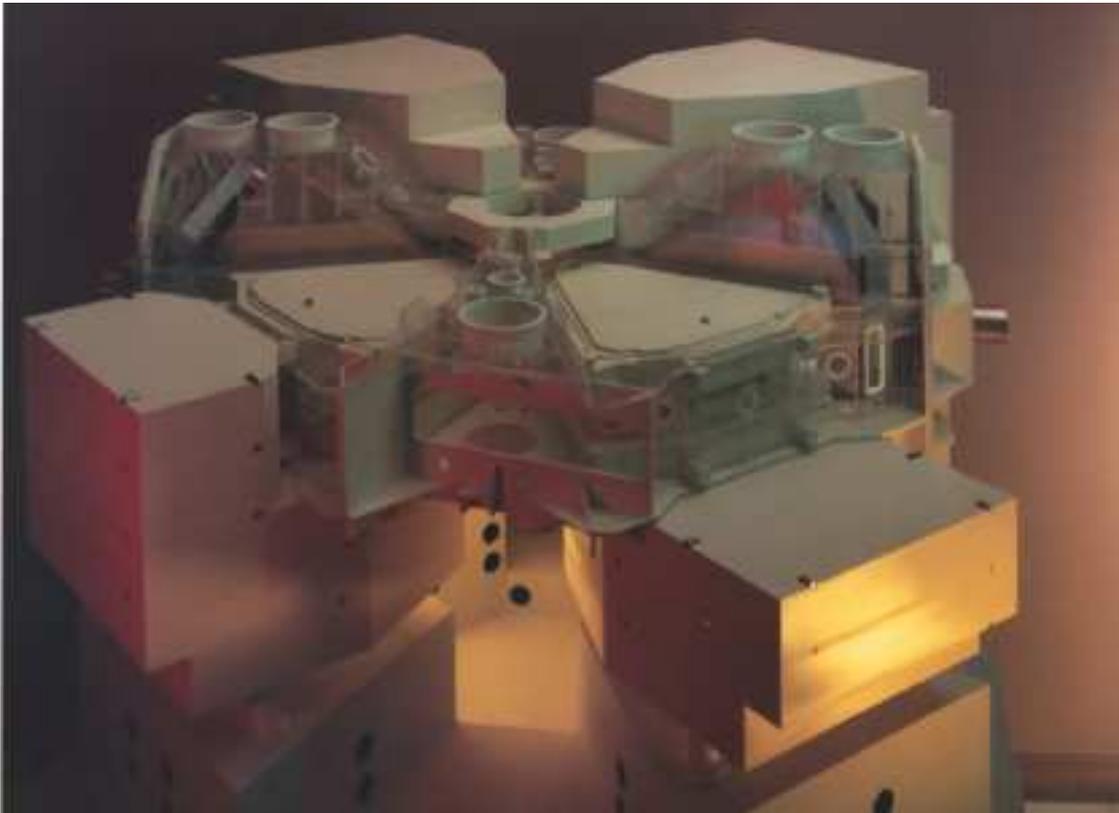
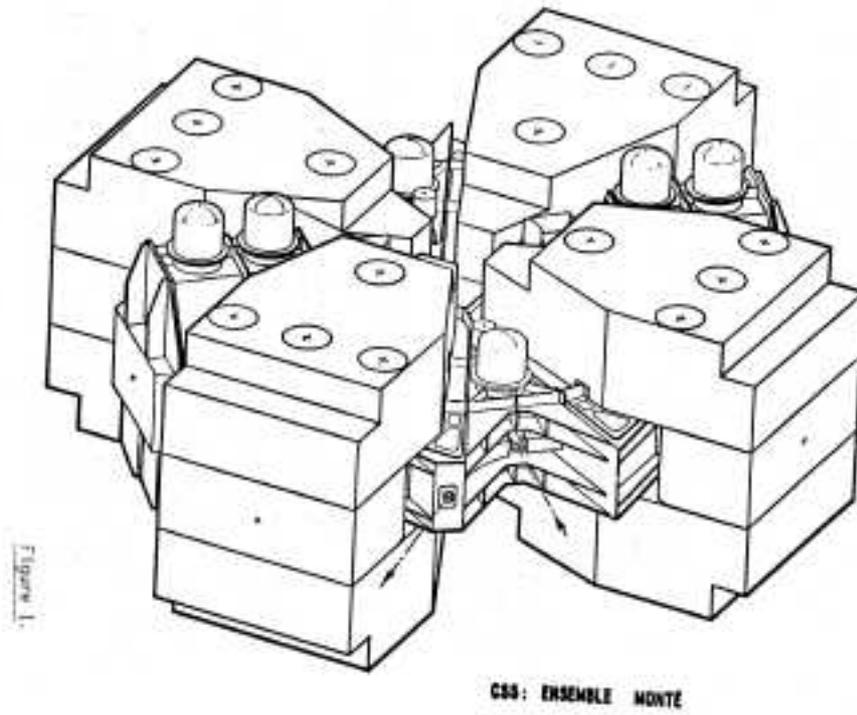
## ANNEXE 17

↪ Photographie de la cavité accélératrice expérimentale



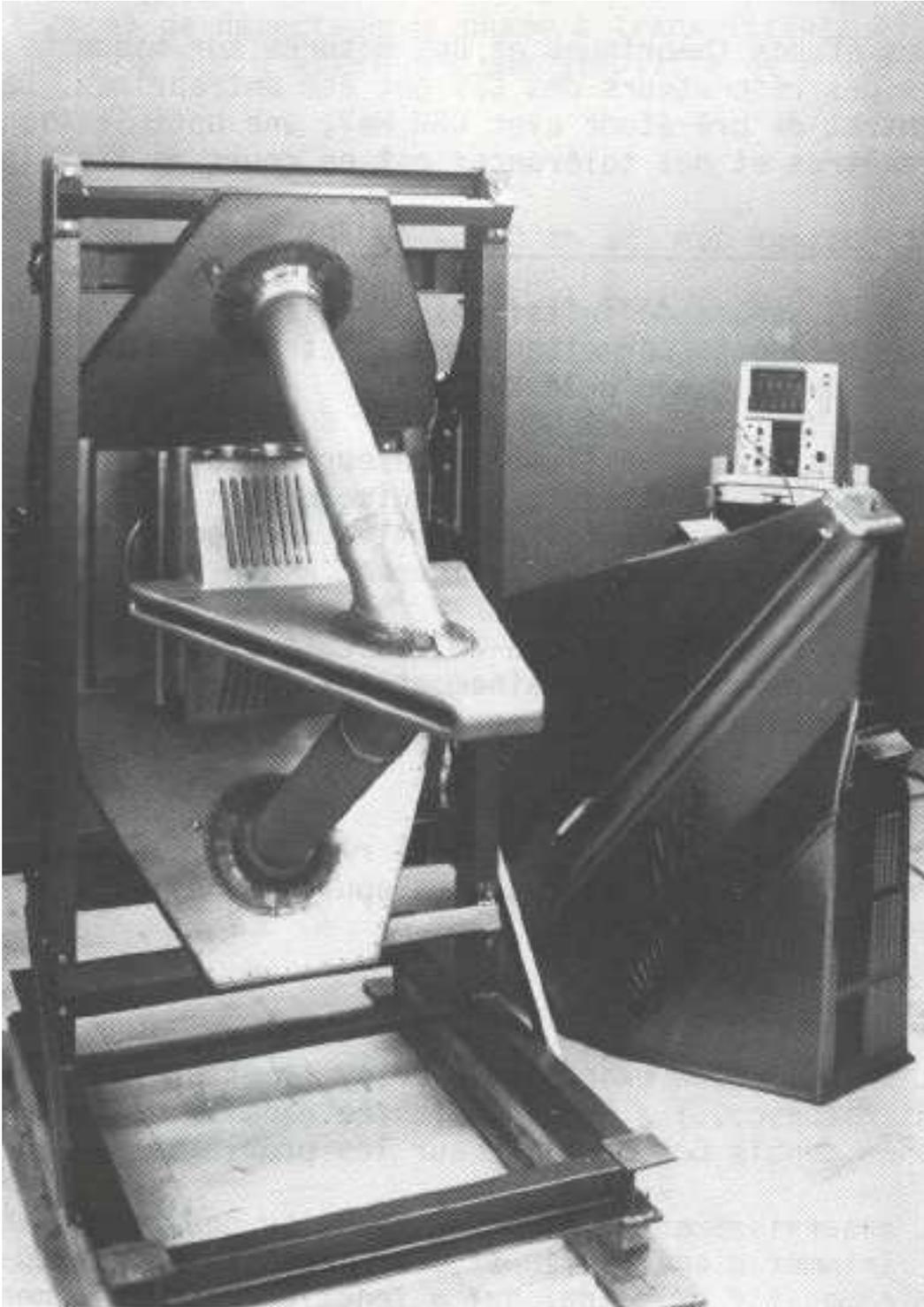
## ANNEXE 18

↪ CSS ensemble monté



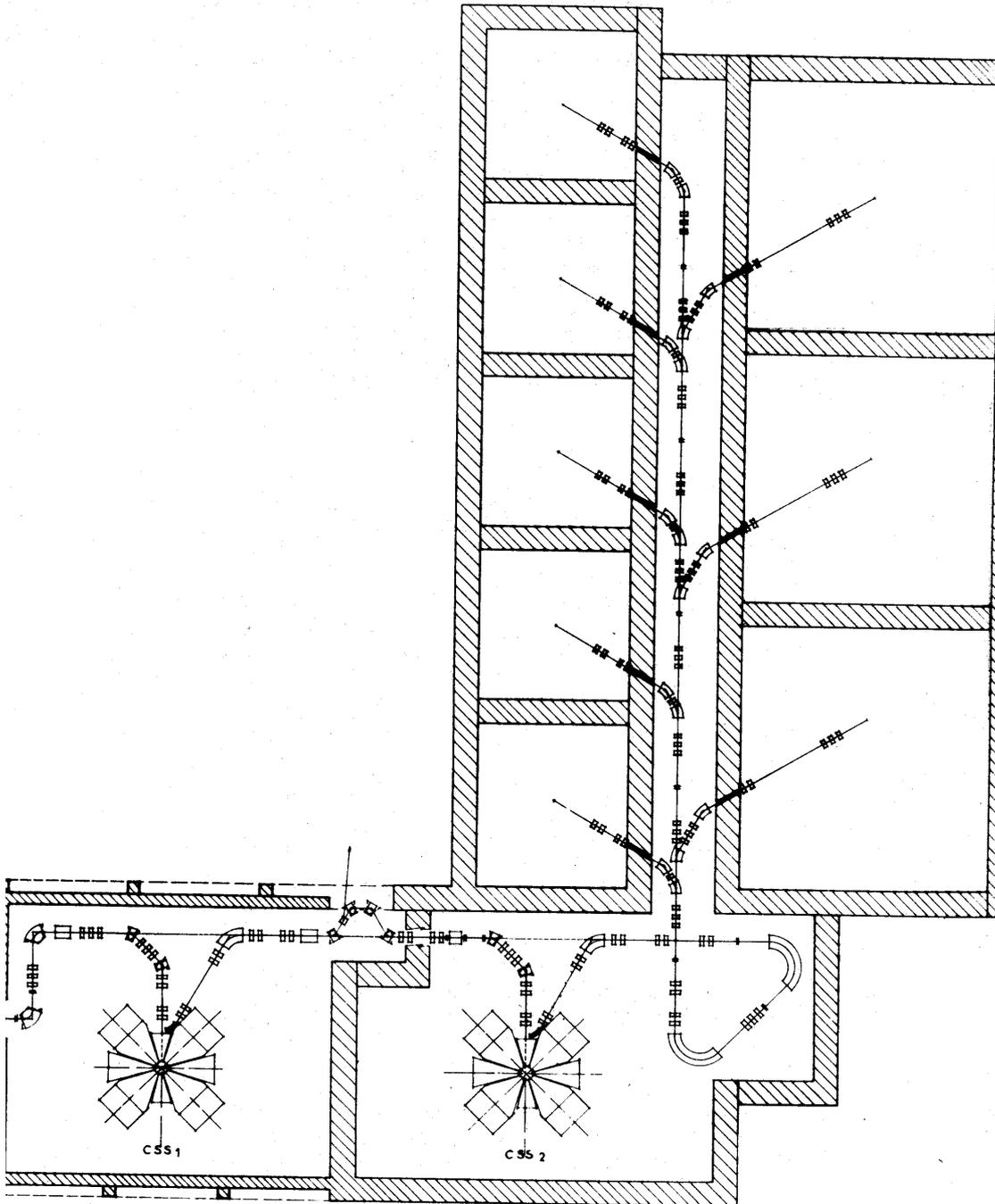
## ANNEXE 19

↳ Photographie de la maquette du résonateur



# ANNEXE 20

## ↳ Plan masse des bâtiments machine et aires expérimentales



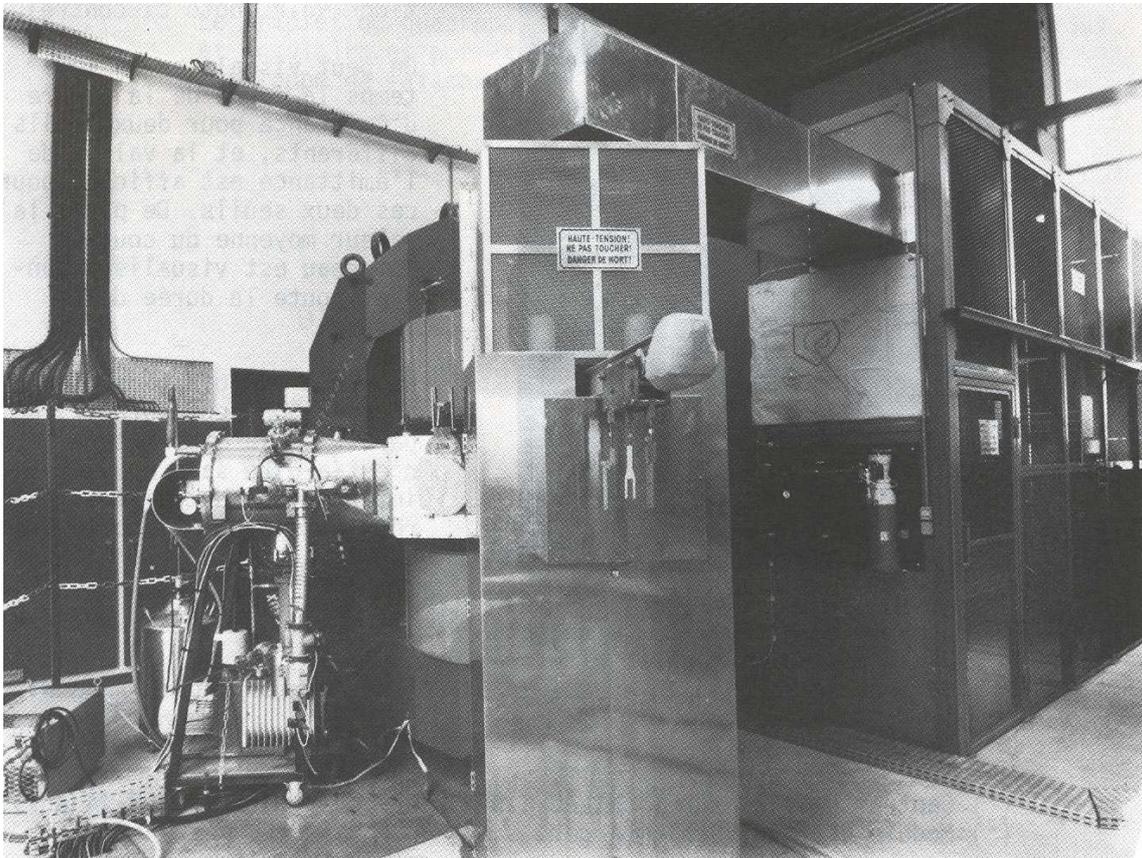
## ANNEXE 21

↳ Maquette des secteurs magnétiques



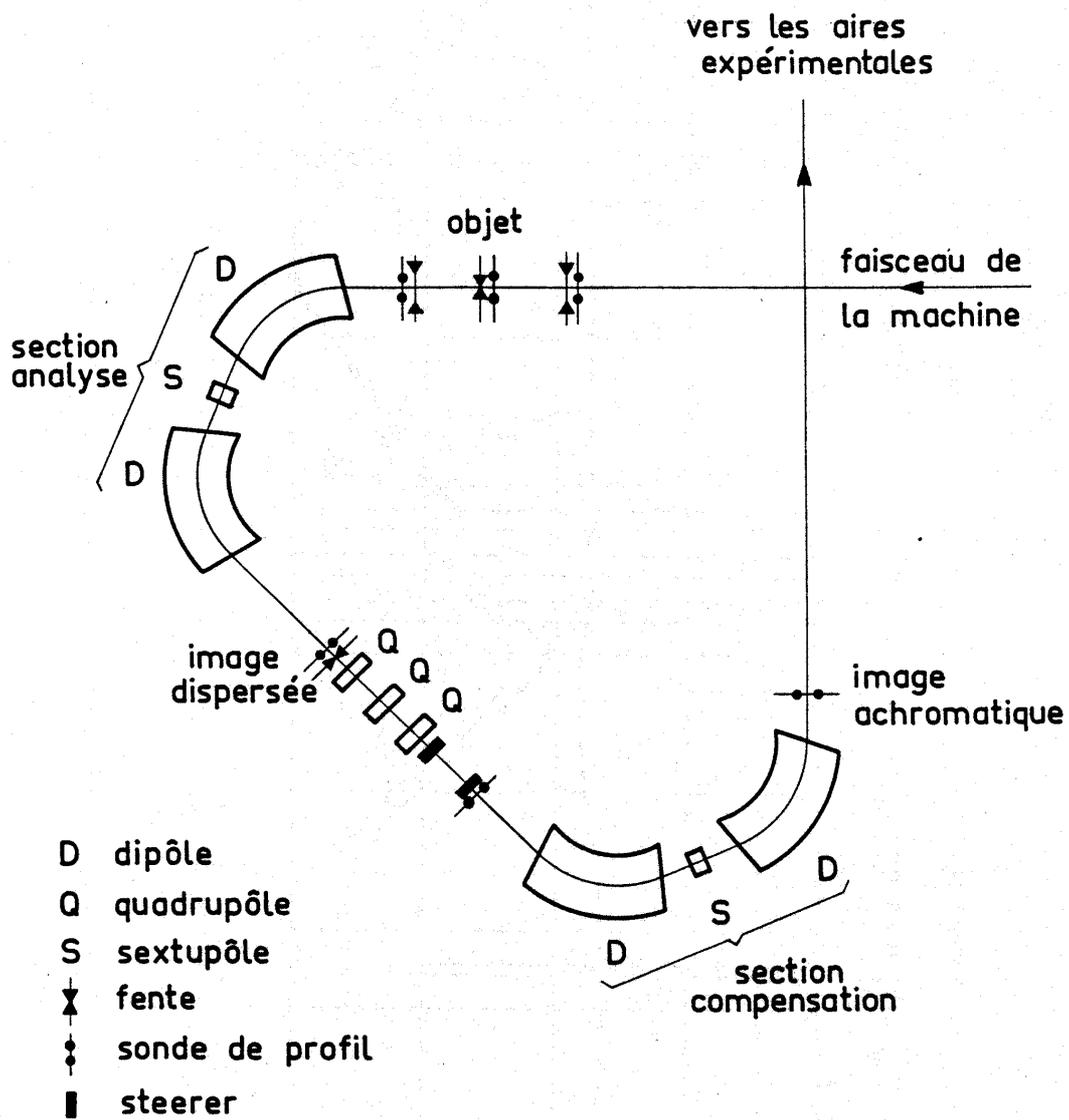
## ANNEXE 22

↪ Photographie de la source d'ions



# ANNEXE 23

## ↳ Plan du spectromètre en alpha



## ANNEXE 24

↳ Photographies de la construction du bâtiment machine



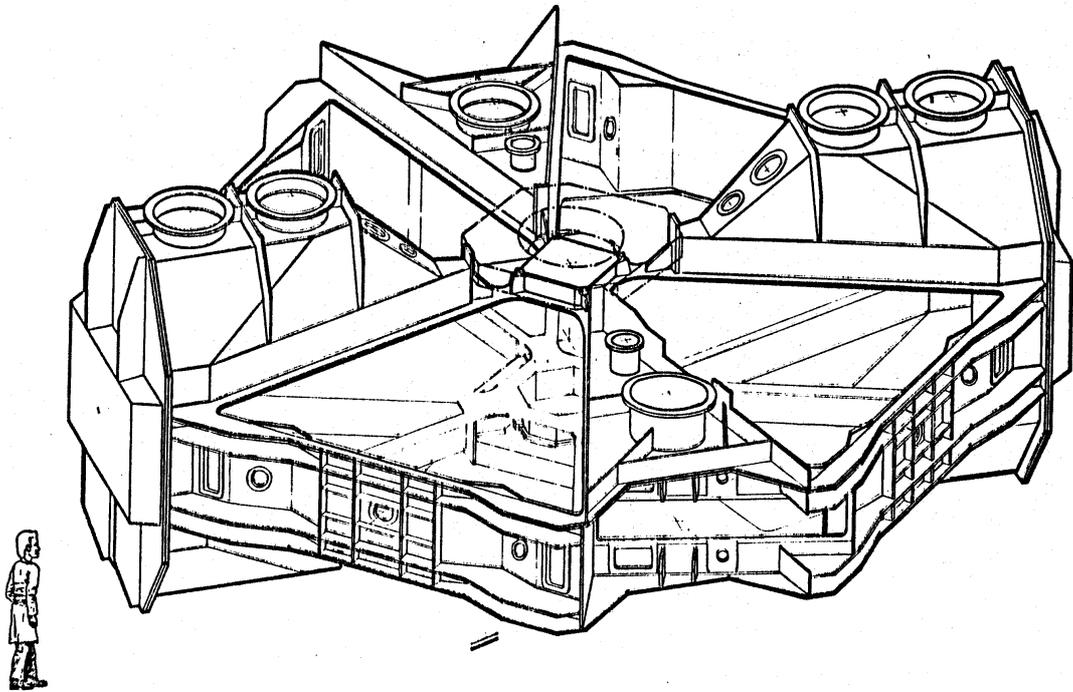
## ANNEXE 25

↳ Photographies des premiers secteurs magnétiques



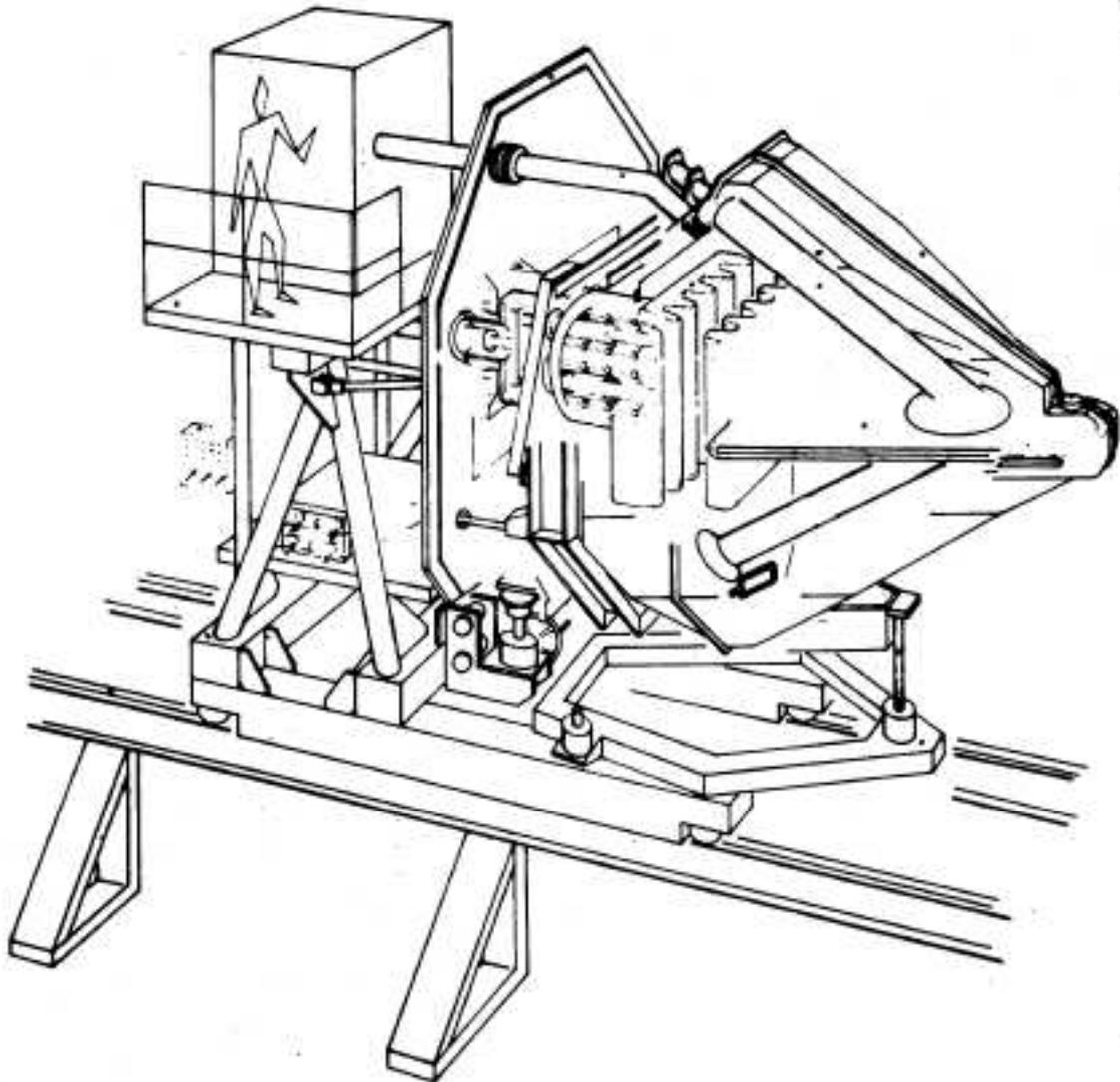
## ANNEXE 26

↪ Schéma de la chambre à vide de CSS1



## ANNEXE 27

↪ Vue en perspective d'un résonateur des CSS



## ANNEXE 28

### ~ Questionnaire relatif au fonctionnement du GANIL

#### Questionnaire relatif au fonctionnement du GANIL

##### Préambule :

Le présent questionnaire est destiné à permettre au groupe de travail, chargé d'étudier des modes possibles de fonctionnement du GANIL et mis en place par le Comité scientifique du GANIL lors de sa réunion du 23 avril 1979, de s'enquérir des souhaits des utilisateurs potentiels de cette machine.

Pour rédiger ce questionnaire, le groupe de travail a considéré que l'on pouvait envisager deux modes extrêmes de fonctionnement : celui d'un laboratoire dit local ou celui d'un laboratoire dit d'accueil.

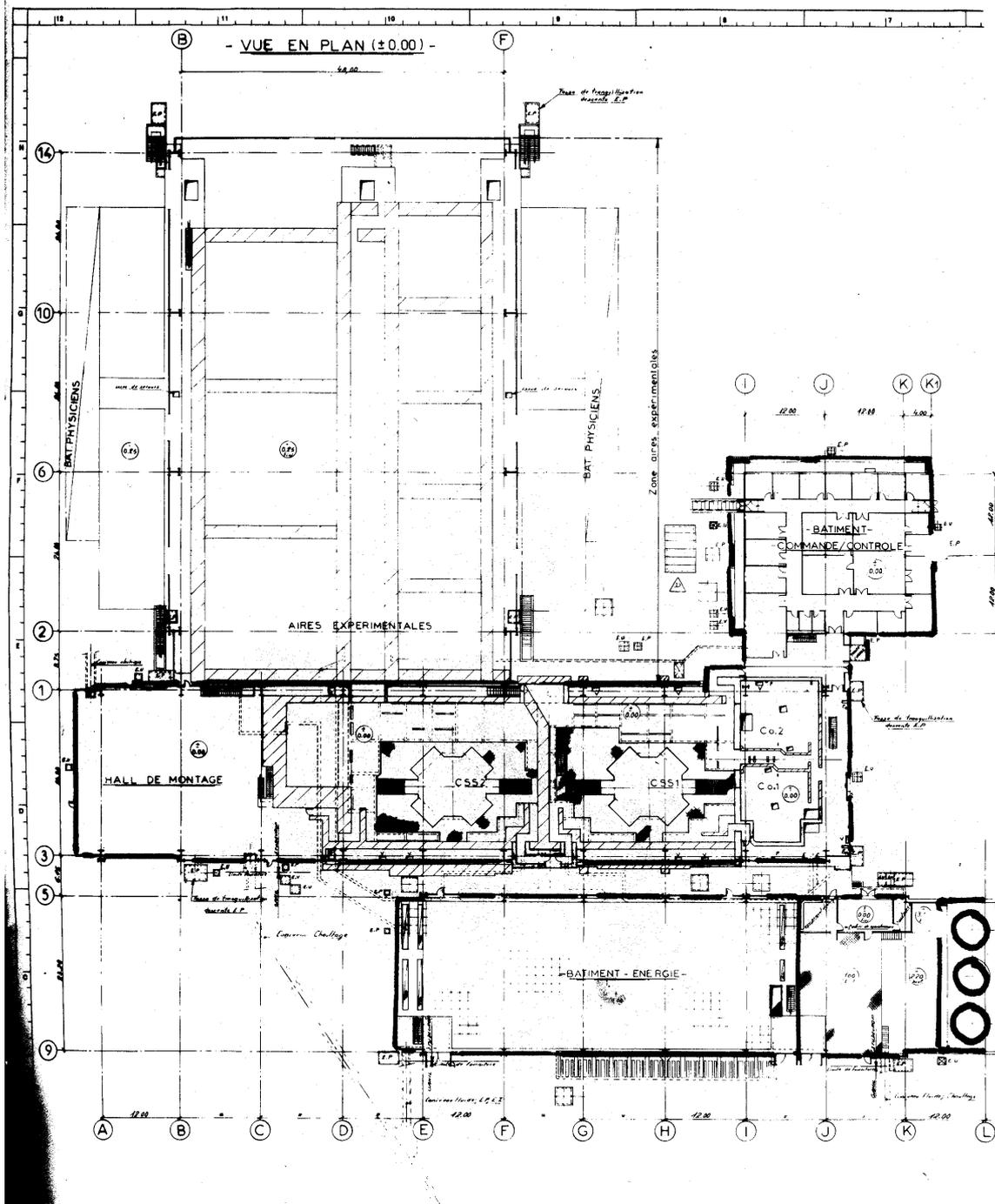
Un laboratoire local signifie un nouveau laboratoire recevant ses crédits directement des organismes de tutelle, ayant un nombre de physiciens permanents suffisant pour assurer et assumer une vie scientifique complète sur le site du GANIL. Il doit posséder un personnel technique de haute compétence s'appuyant sur des moyens matériels complets et très performants.

La vocation d'un laboratoire d'accueil est de permettre aux physiciens de tous horizons de pouvoir faire des expériences à GANIL. Il est concevable, bien que probablement peu souhaitable, que la totalité des moyens nécessaires à la mise en oeuvre des expériences soit apportée par les équipes de physiciens impliquées dans les expériences. Un tel laboratoire pourrait, à la limite, ne posséder aucun physicien permanent, ni aucun support technique.

Il est clair que nombre de situations intermédiaires peuvent être imaginées entre ces deux extrêmes.

# ANNEXE 29

## ↳ Plan des bâtiments du GANIL



## ANNEXE 30

↳ Photographie montrant l'avancement des travaux



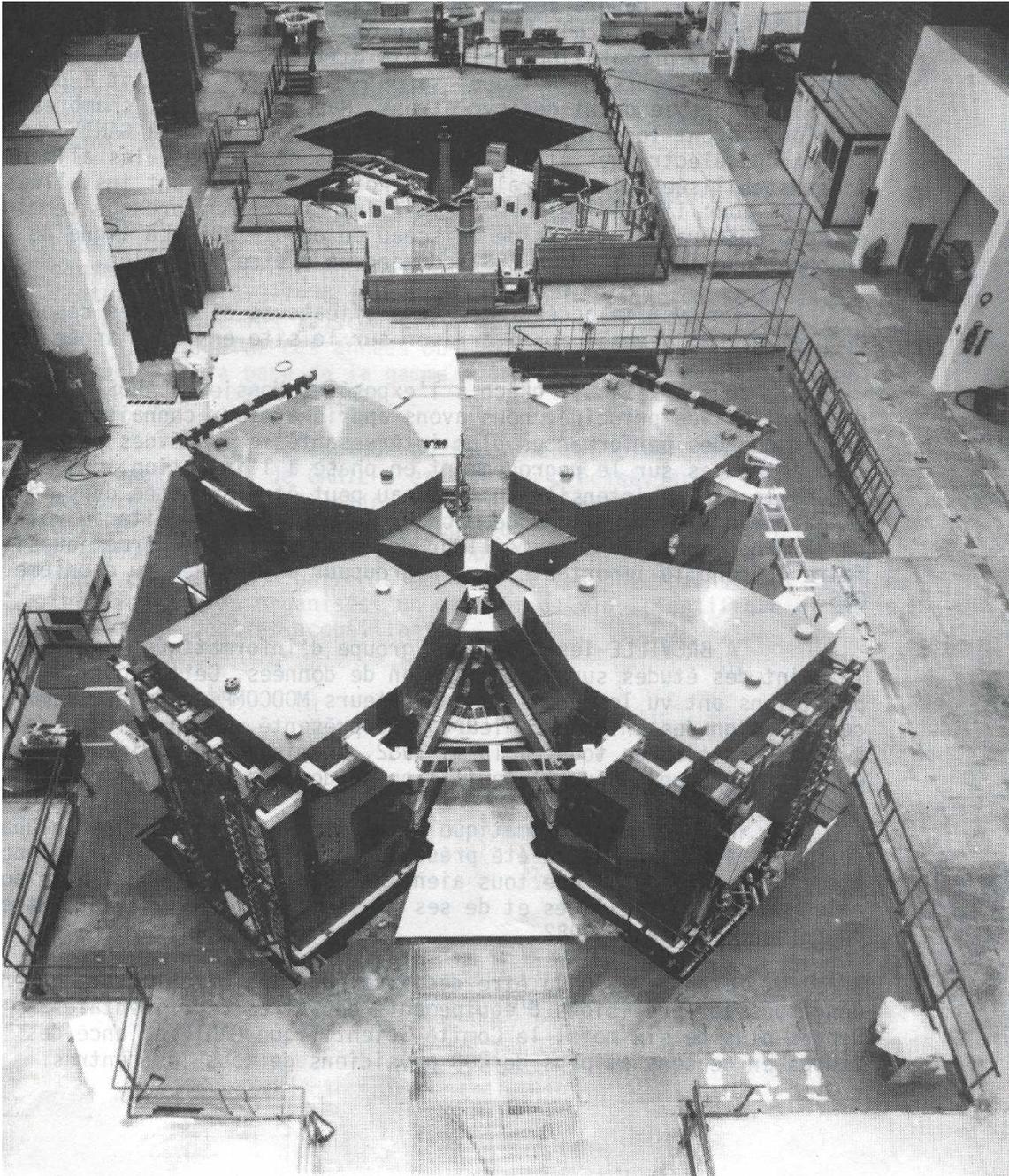
## ANNEXE 31

↳ Photographies de l'arrivée de la chambre à vide



## ANNEXE 32

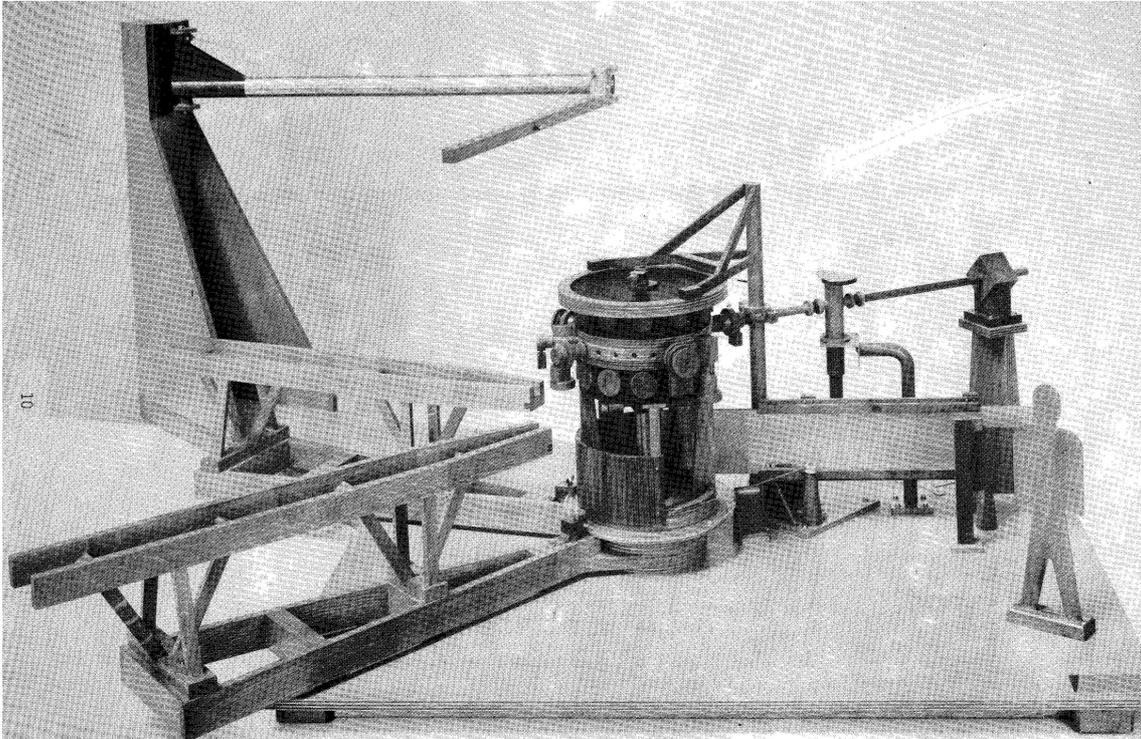
↳ Photographie des 4 secteurs de CSS1 montés





## ANNEXE 34

↪ Maquette de la chambre temps de vol



## ANNEXE 35

### ↳ Photographies de Nautilus





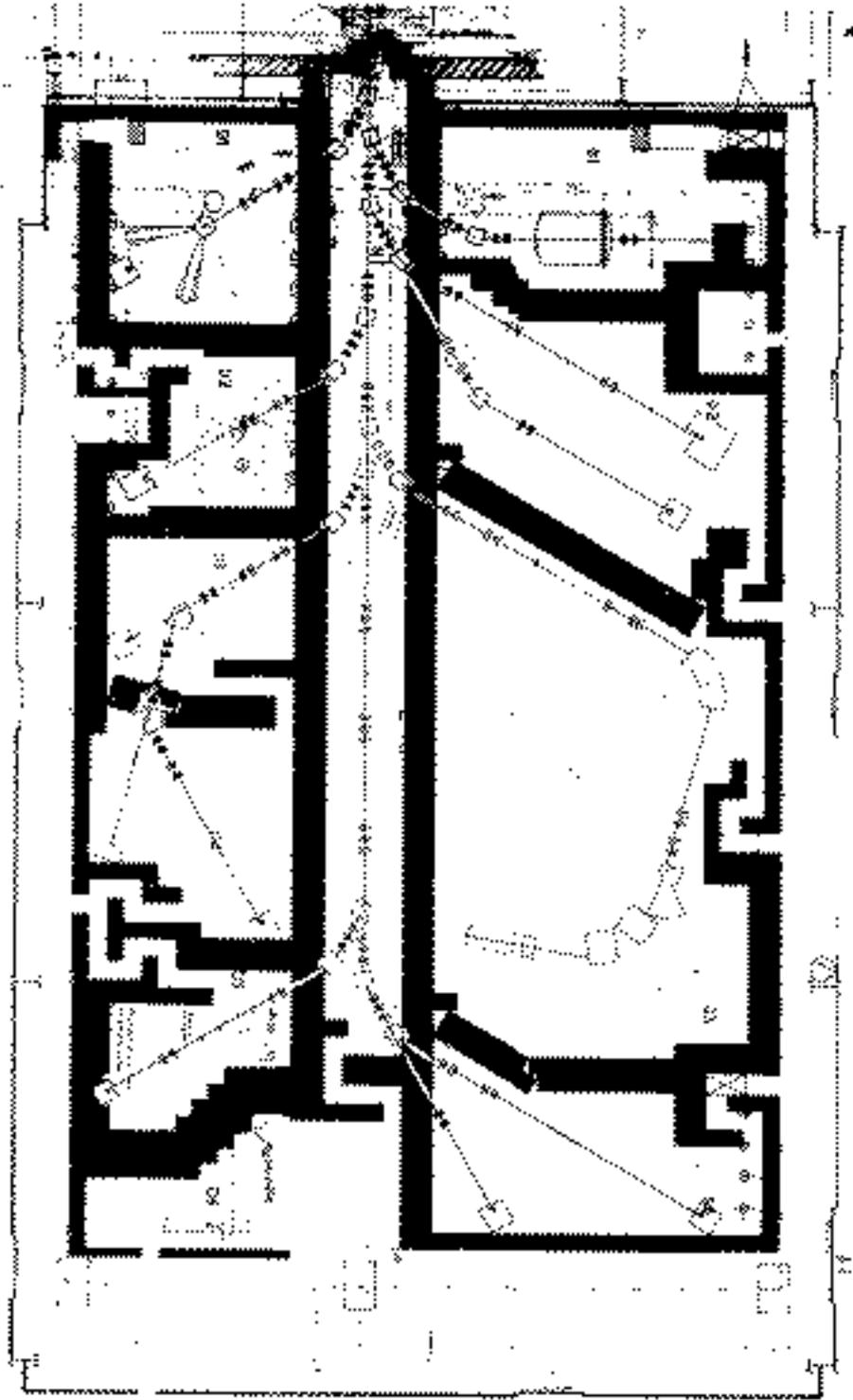
## ANNEXE 37

↪ Photographie aérienne du laboratoire



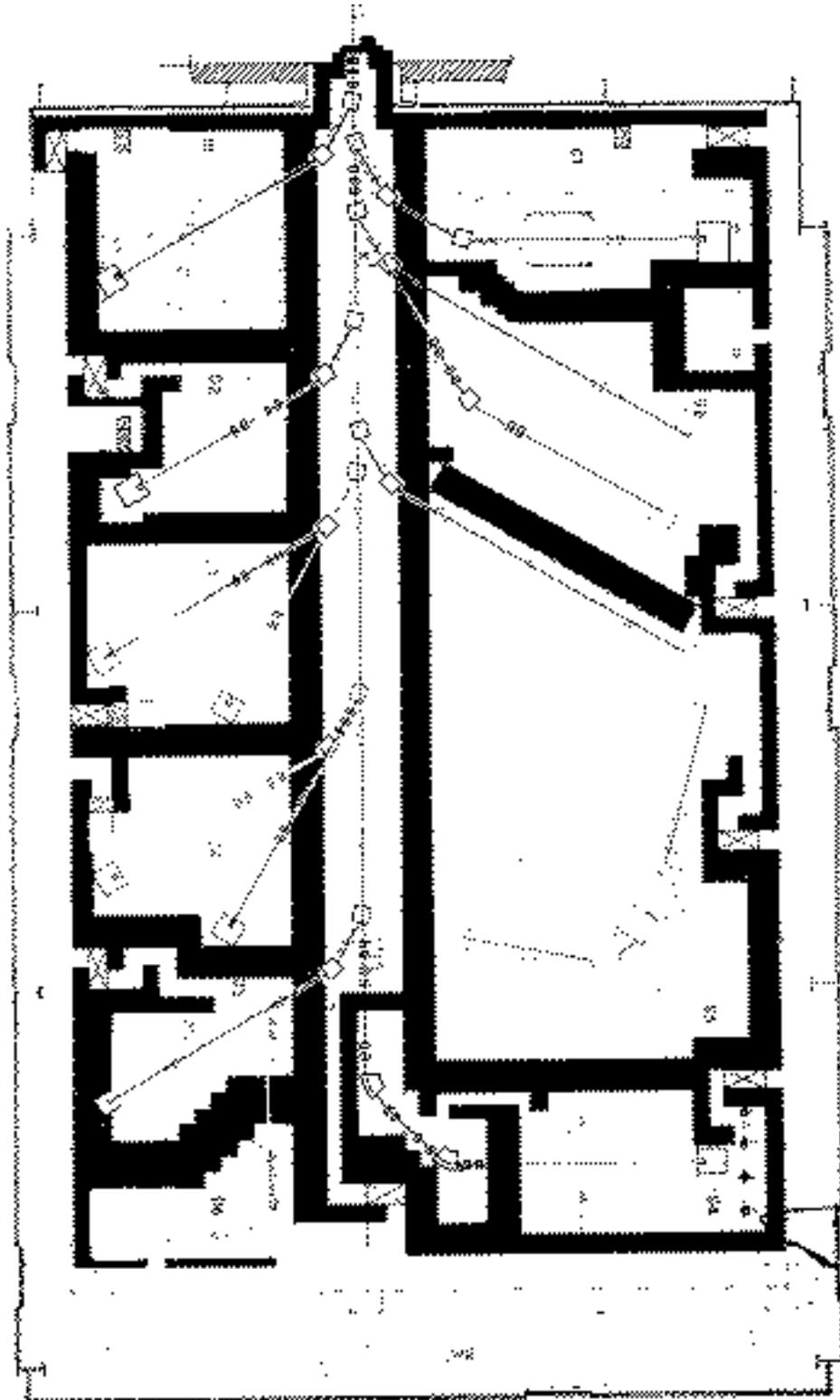
ANNEXE 38

↵ Plan H



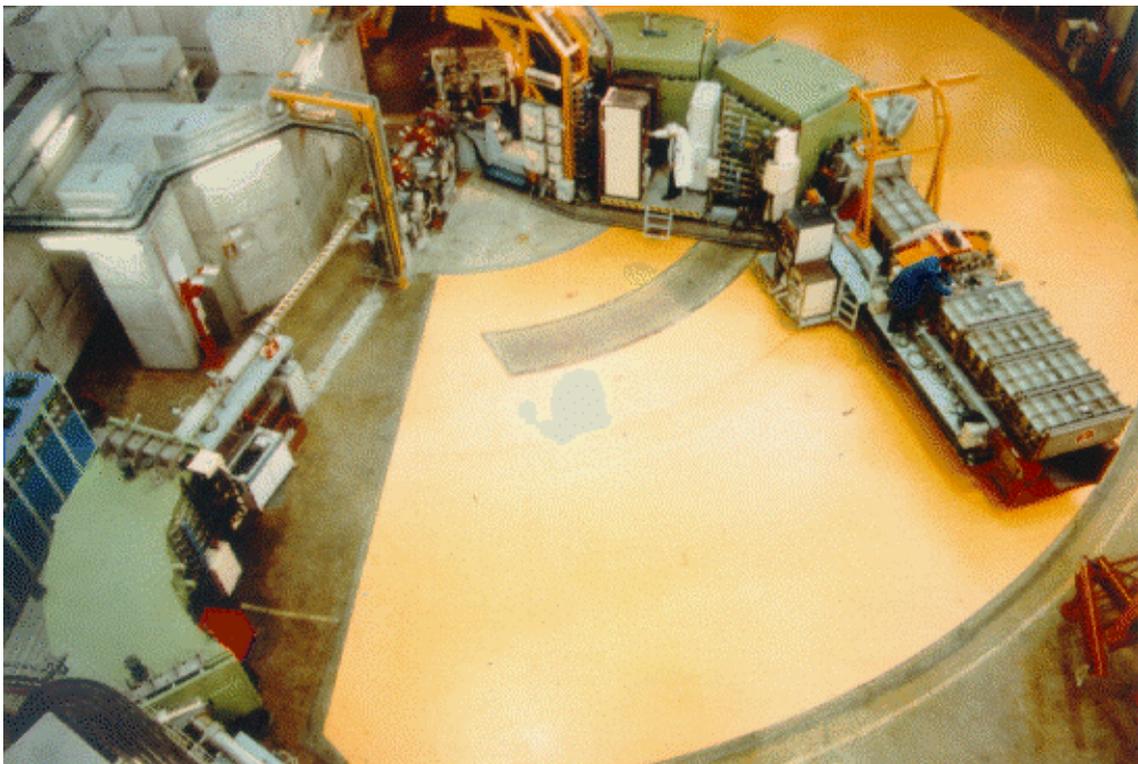
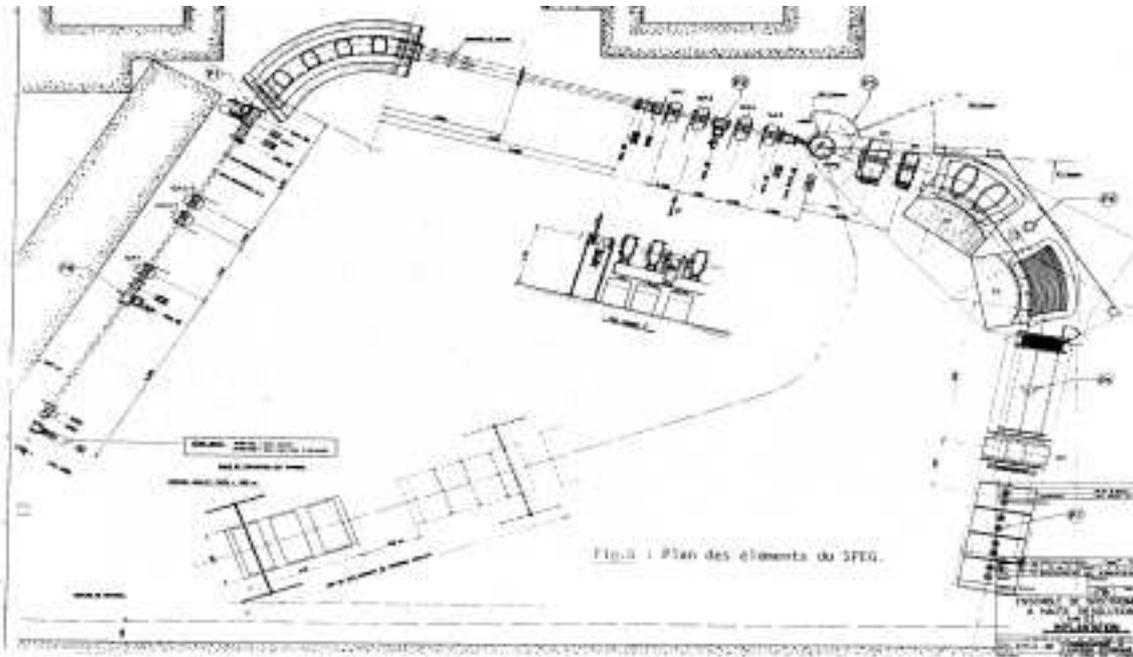
ANNEXE 39

↶ Plan H'



## ANNEXE 40

↳ Plan général et photographie de SPEG





## ANNEXE 42

↳ Photographies de l'ensemble accélérateur en construction



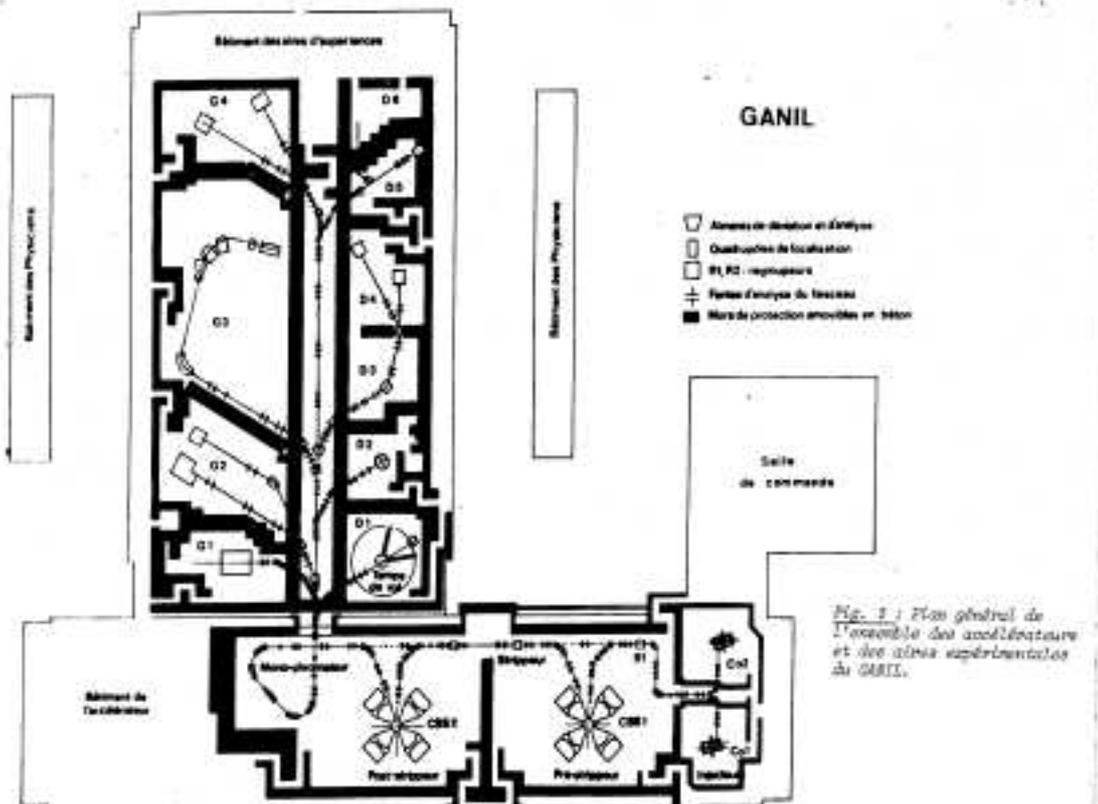
## ANNEXE 43

↪ Photographie de l'arête de poisson en construction



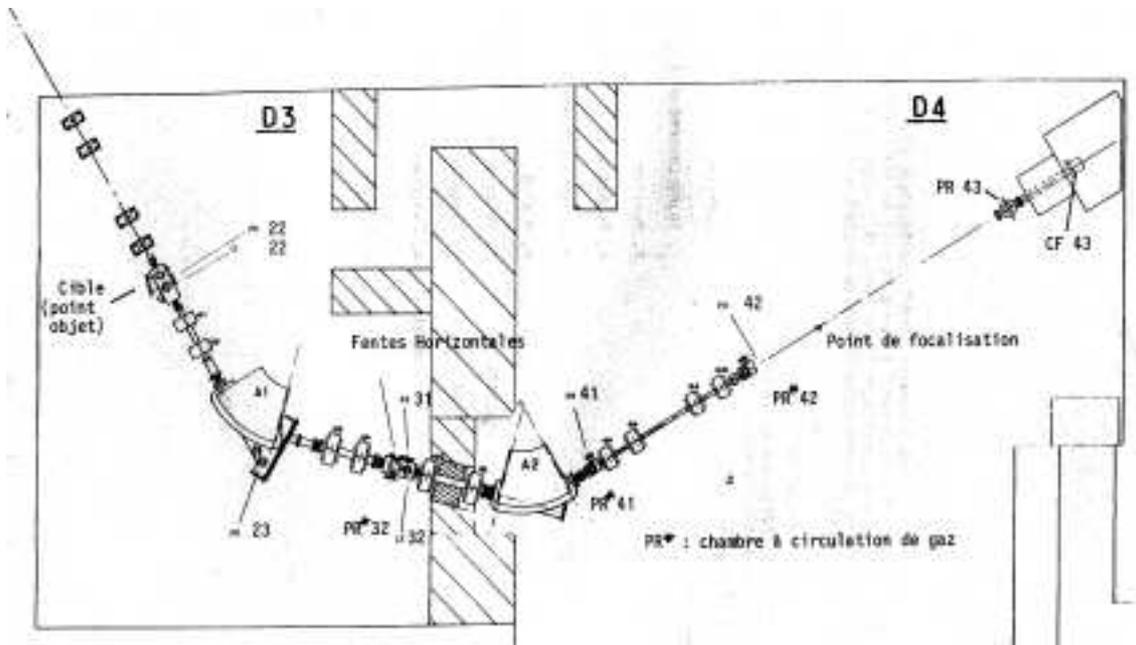
# ANNEXE 44

↳ Plan du GANIL, juin 1983



# ANNEXE 45

↳ Plan de LISE





# ANNEXE 47

## ↳ Plan d'implantation de la SME

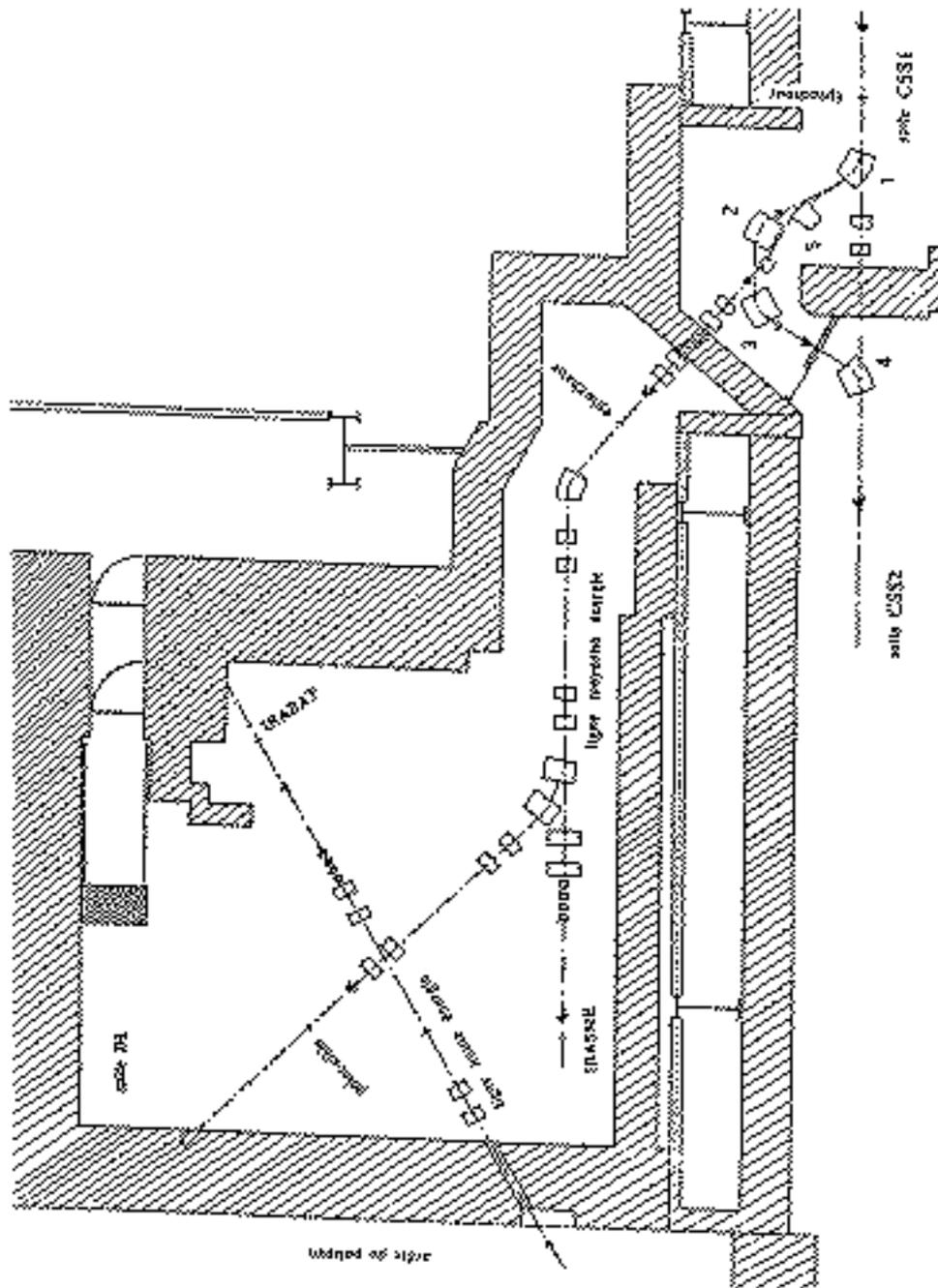


Figure 3 - Schéma de la Salle Moyenne Énergie

# ANNEXE 48

## Note conjointe GANIL-CIRIL sur l'Utilisation de la SME

Grand Accélérateur National d'Ions Lourds

# GANIL

GROUPEMENT D'INTÉRÊT ÉCONOMIQUE

RÉGI PAR L'ORDONNANCE N° 67 821 du 23.9.67

Siège Social : Bd Henri Becquerel 14000 CAEN (France)

R.C. Caen 997 888 300 C

Code APE 93 11

N° Siret 305 824 666 00021



CENTRE INTERDISCIPLINAIRE DE  
RECHERCHES AVEC LES IONS LOURDS

Laboratoire commun CEA-CNRS implanté auprès du GANIL

Le 14 Novembre 1989

### Note conjointe GANIL - CIRIL sur l'Utilisation du faisceau de la Sortie à Moyenne Energie du GANIL

1. Il est fait appel à des propositions d'expériences ponctuelles mais aussi à des programmes de recherches pouvant s'étendre sur des périodes longues (par exemple 2 ou 3 ans). Elles sont soumises pour avis au Comité d'Expériences de Physique Non Nucléaire du GANIL.
2. Dans la mesure où des disponibilités du faisceau de la SME apparaissent après les attributions effectuées suivant la procédure normale (§ 1), des demandes complémentaires sont recevables. Elles sont examinées conjointement par les directions du GANIL et du CIRIL et peuvent faire l'objet d'attributions de faisceau complémentaires.
3. Les demandes d'utilisation de faisceaux de la SME pour des applications industrielles sont examinées en commun par les directions du GANIL et du CIRIL, en liaison avec les groupes compétents des deux laboratoires. Le prix de vente du faisceau SME du GANIL est établi suivant les mêmes principes que ceux qui ont permis de fixer le coût du faisceau principal.
4. La programmation des faisceaux SME se fait sous les signatures du directeur et du directeur adjoint du GANIL et du directeur du CIRIL.
5. Les Directions du GANIL et du CIRIL nomment en commun un coordinateur du faisceau SME. Celui-ci propose aux Directions le programme d'utilisation des faisceaux SME, en étroit contact avec le coordinateur du faisceau principal.

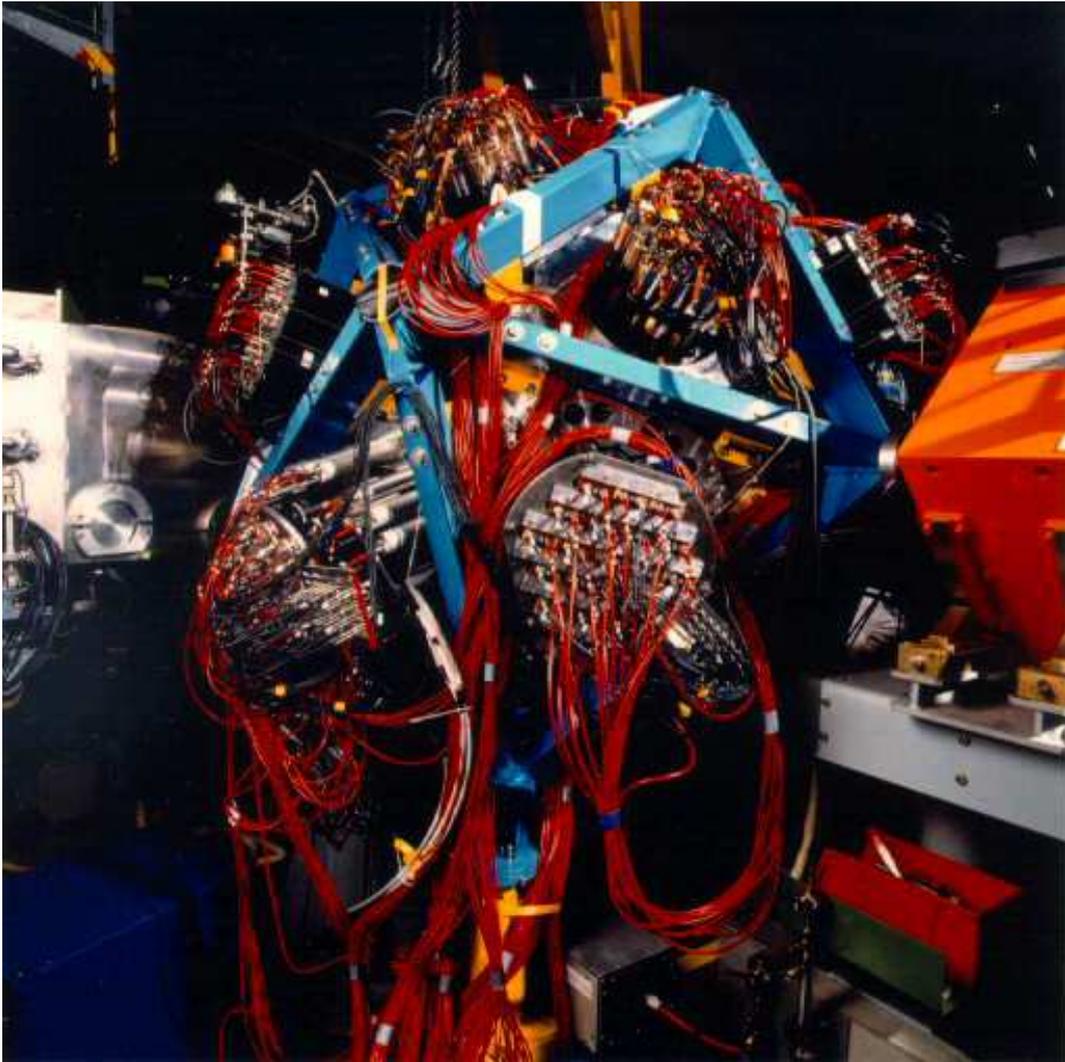
Claude DETRAZ  
Directeur du GANIL

Samuel HARAR  
Directeur Adjoint

Jean-Claude JOUSSET  
Directeur du CIRIL

## ANNEXE 49

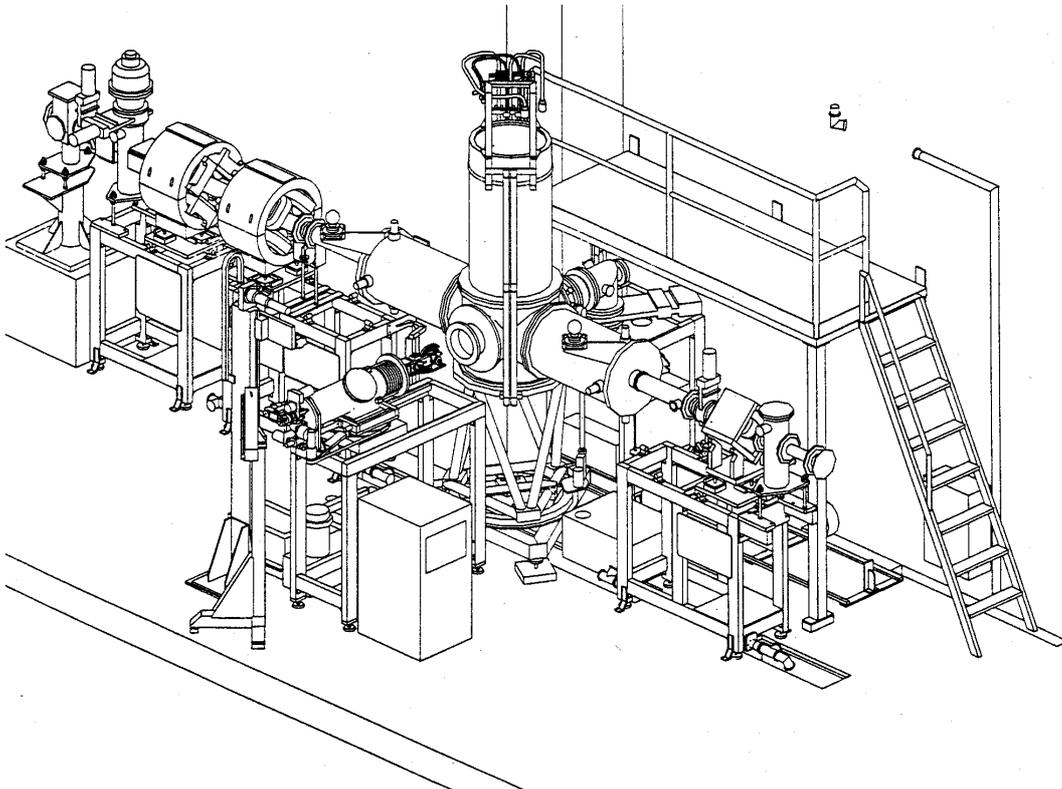
### ↳ Le multidétecteur TAPS





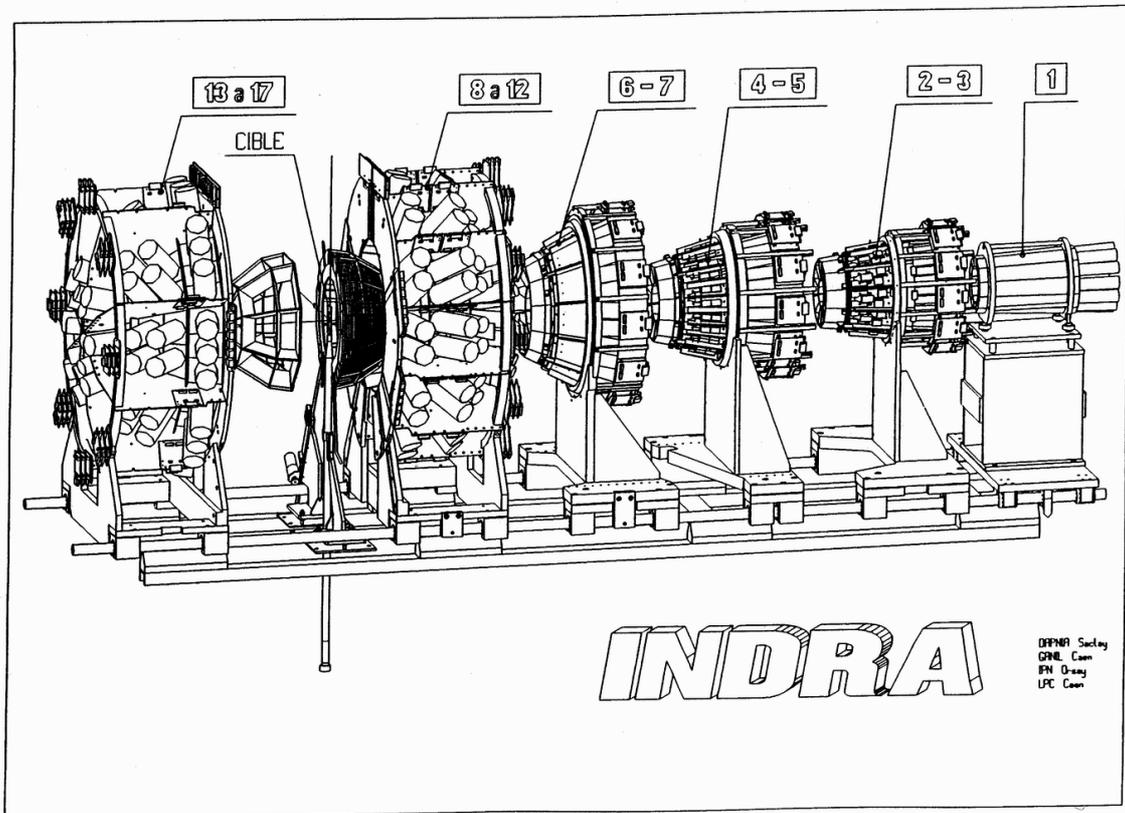
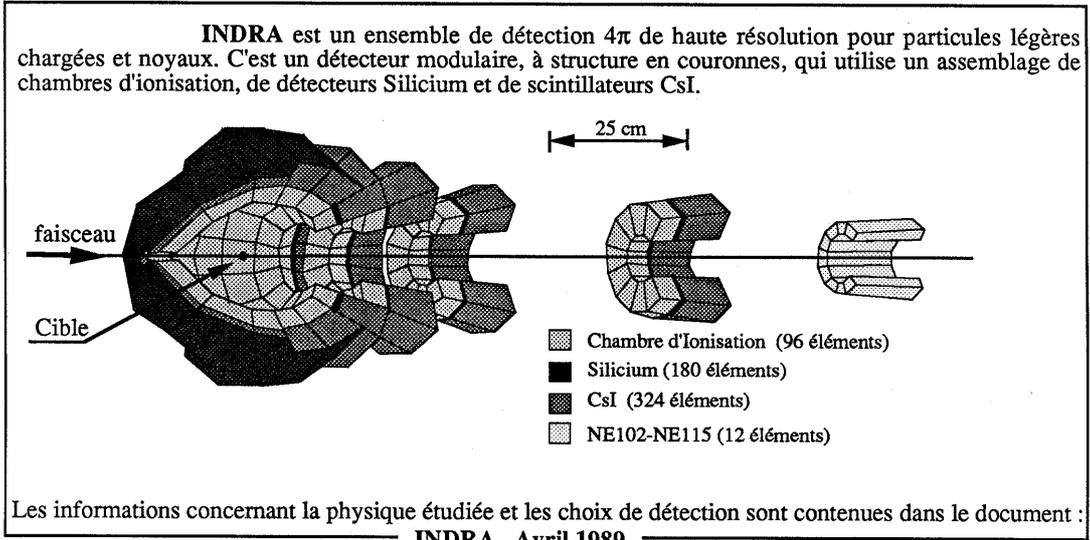
# ANNEXE 51

~ Plan et photographie de SISSI



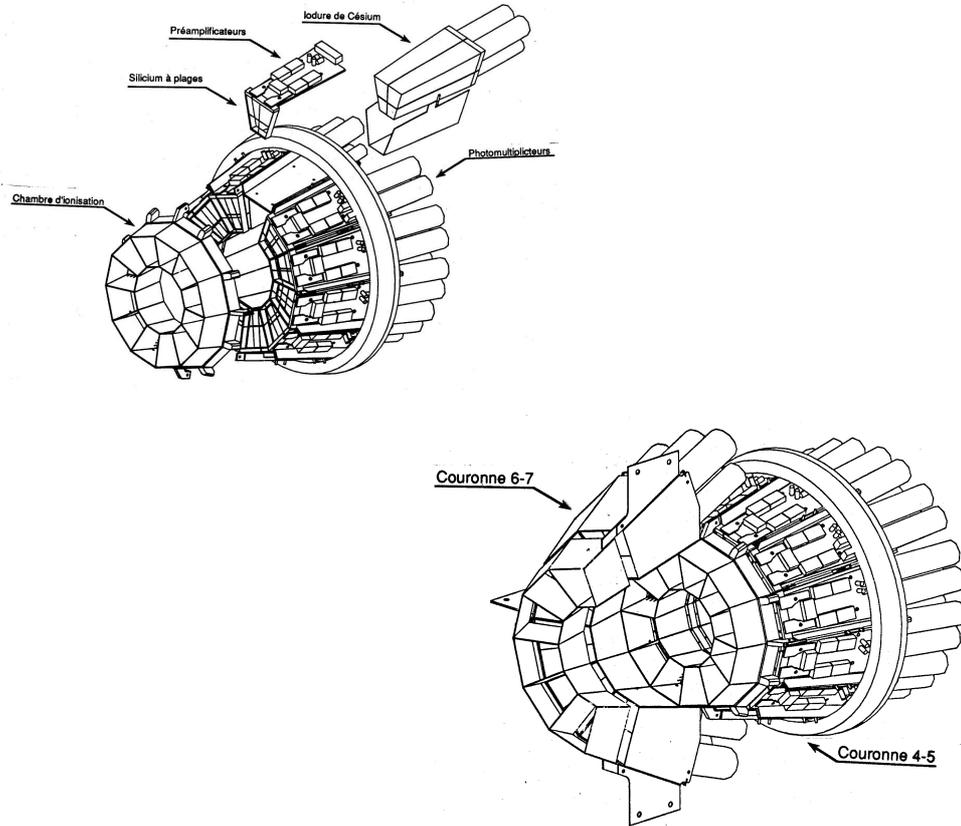
# ANNEXE 52

## ~ Principe de fonctionnement d'INDRA



# ANNEXE 53

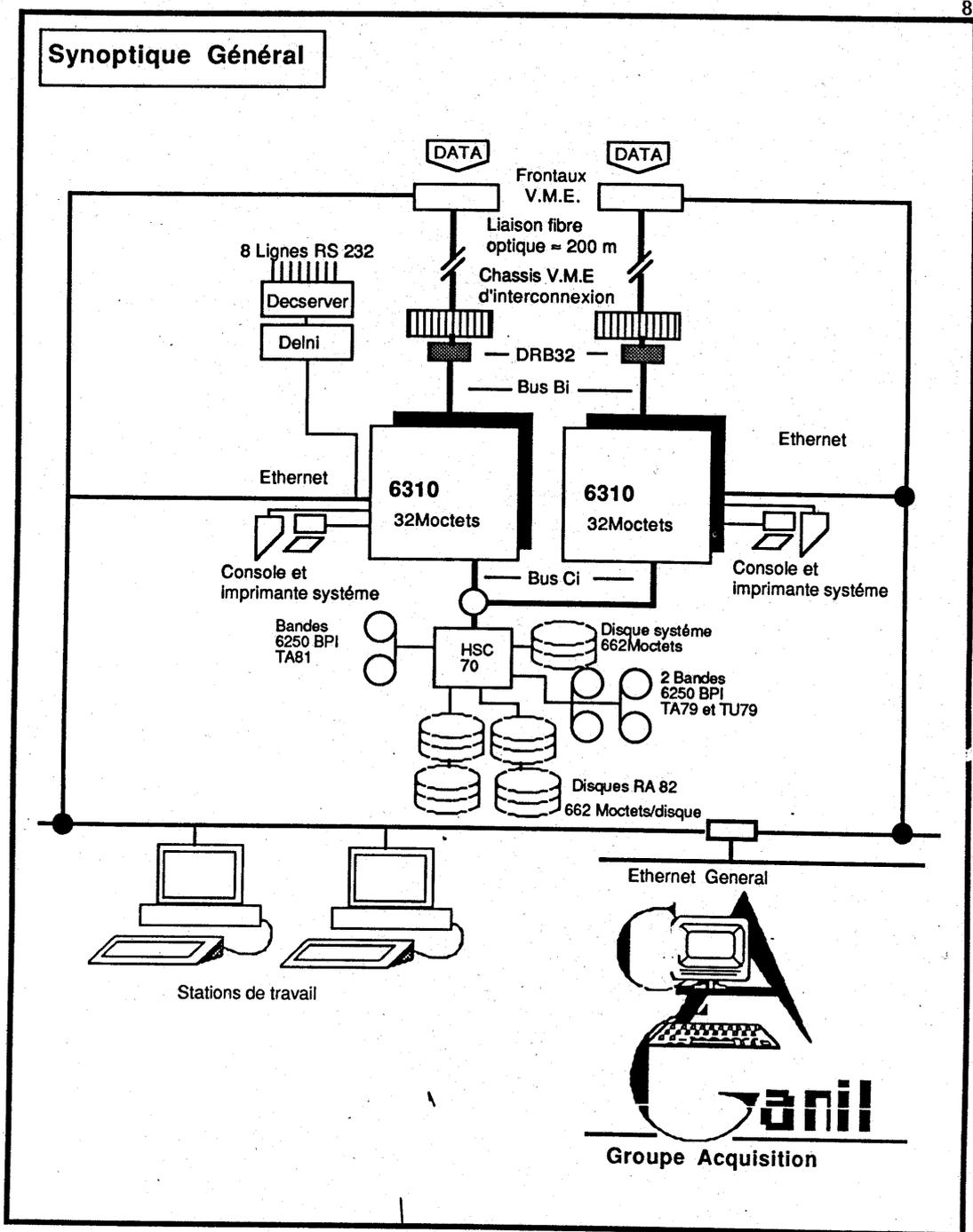
## ~ Photographie et couronnes d'ONDRA





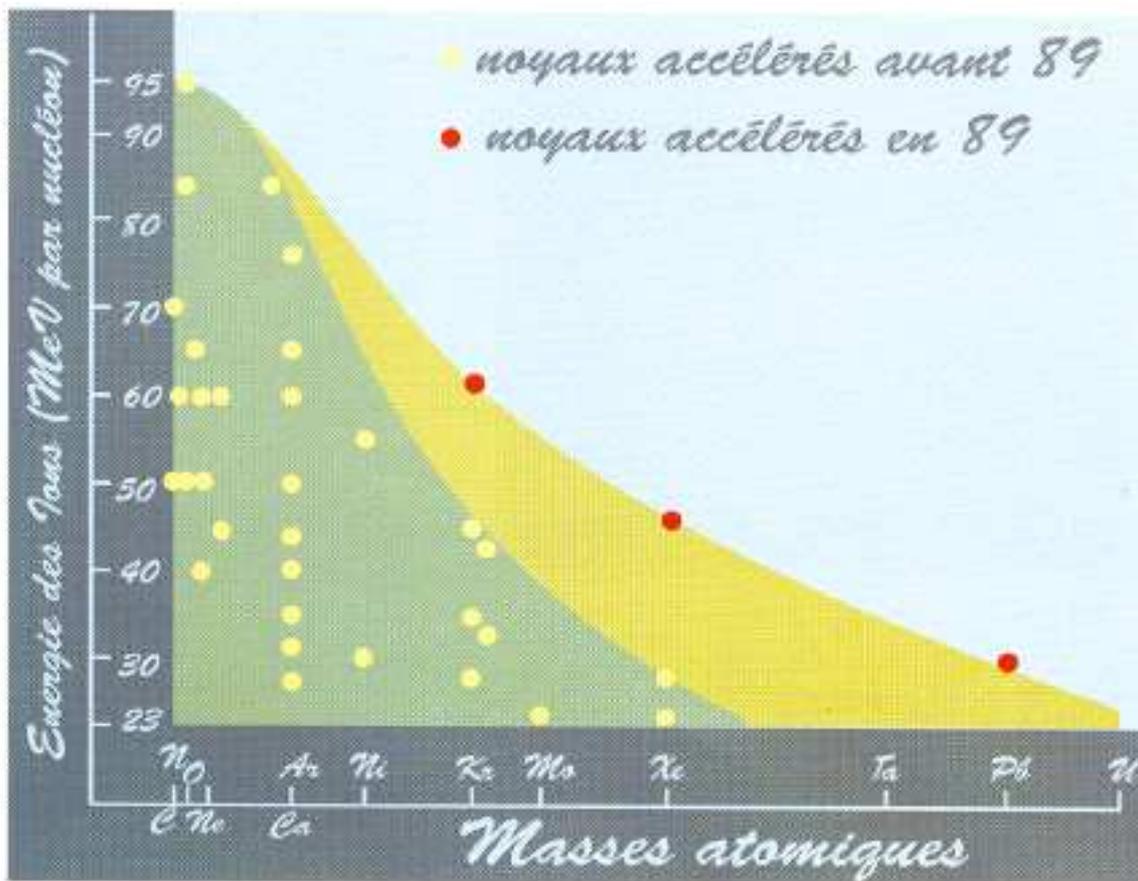
# ANNEXE 55

## ↳ Schéma général de l'acquisition



## ANNEXE 56

↳ Les ions accélérés au GANIL après l'O.A.E.



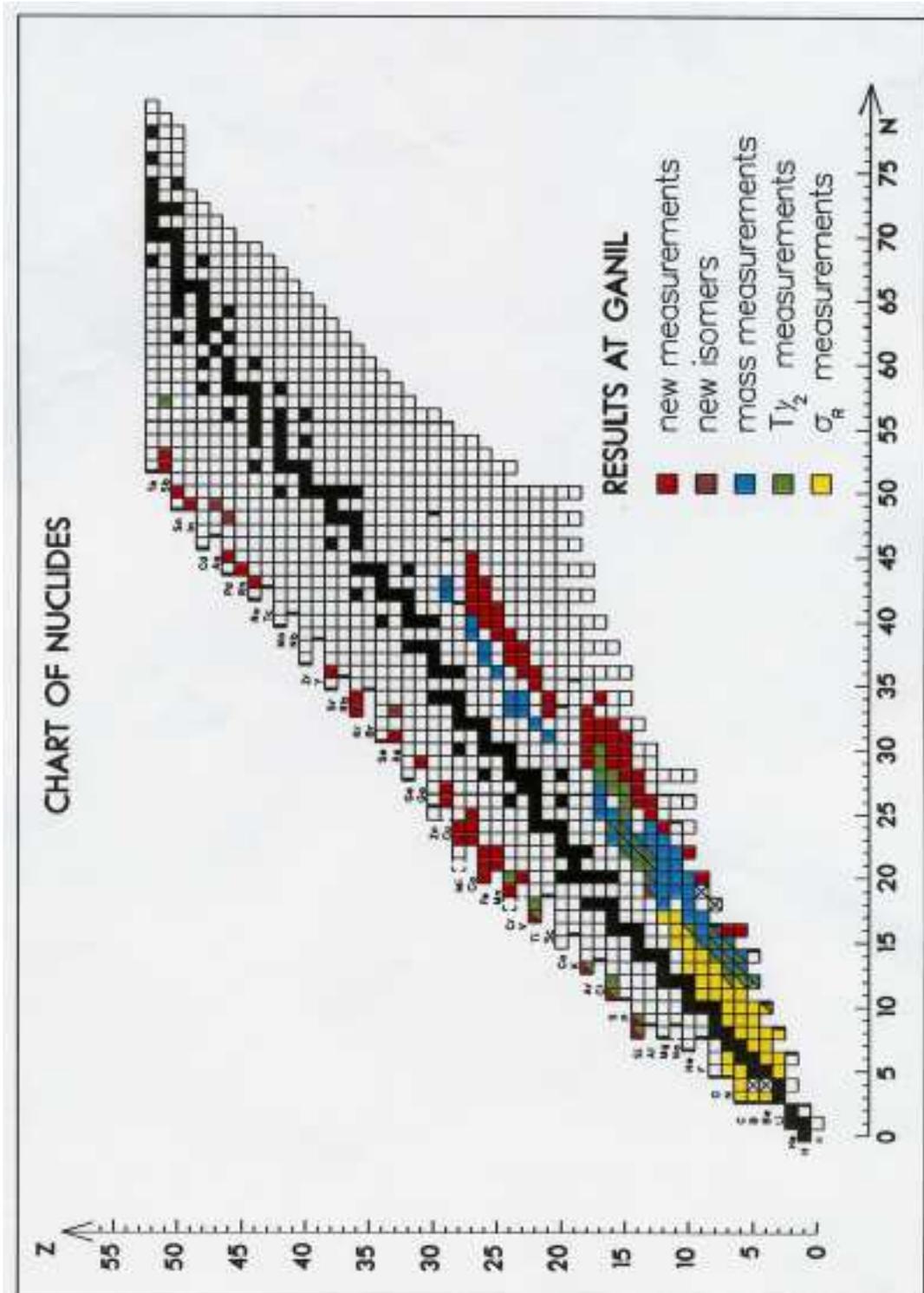
## ANNEXE 57

↪ Quelques images de CYCERON



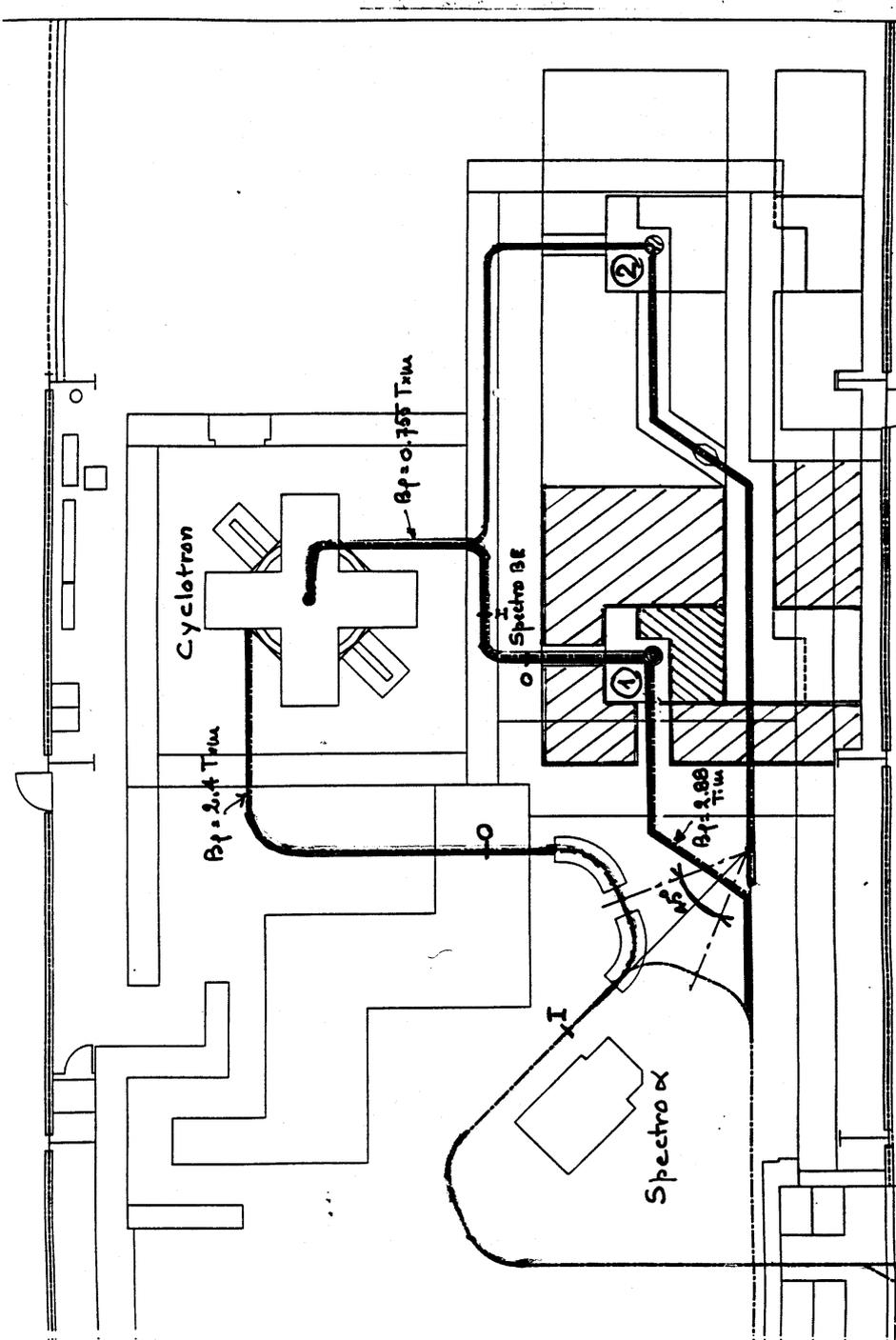
# ANNEXE 58

↪ Noyaux exotiques étudiés au GANIL



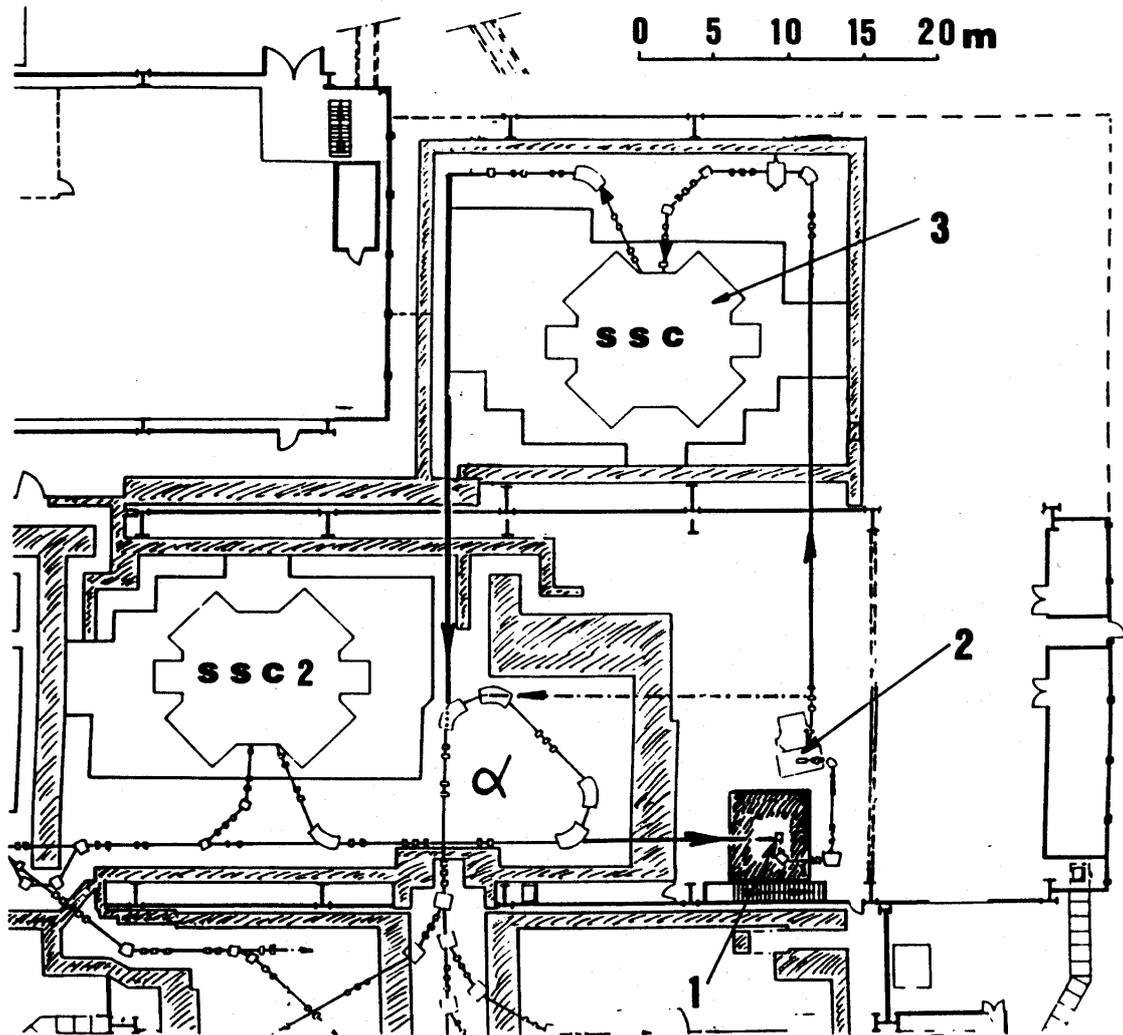
# ANNEXE 59

## Le projet GANIL PLUS



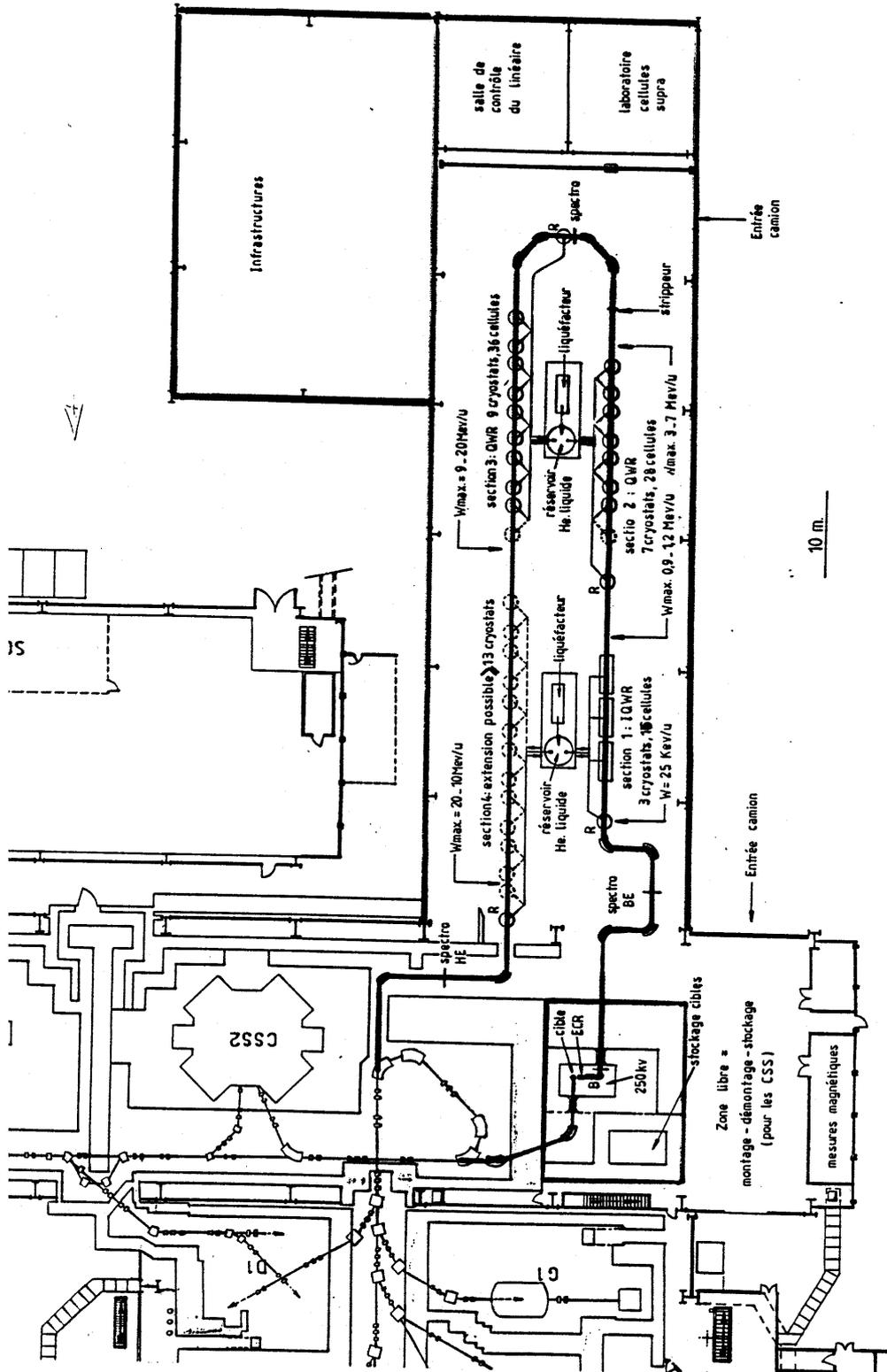
# ANNEXE 60

↪ Schéma de l'installation de SPIRAL



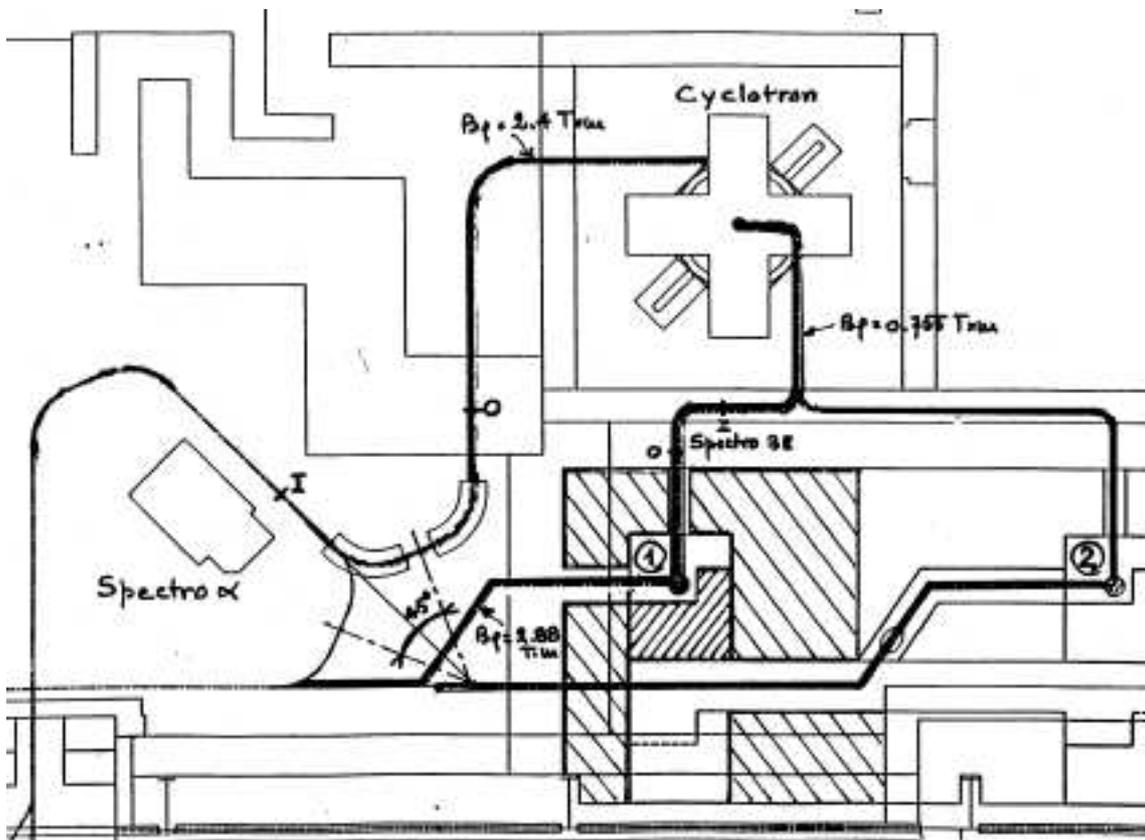
# ANNEXE 61

↳ Schéma de l'installation linéaire



## ANNEXE 62

↳ Implantation de l'ensemble accélérateur



# ANNEXE 63

## ↳ Schémas d'implantation du projet SPIRAL, sous-sol et RDC

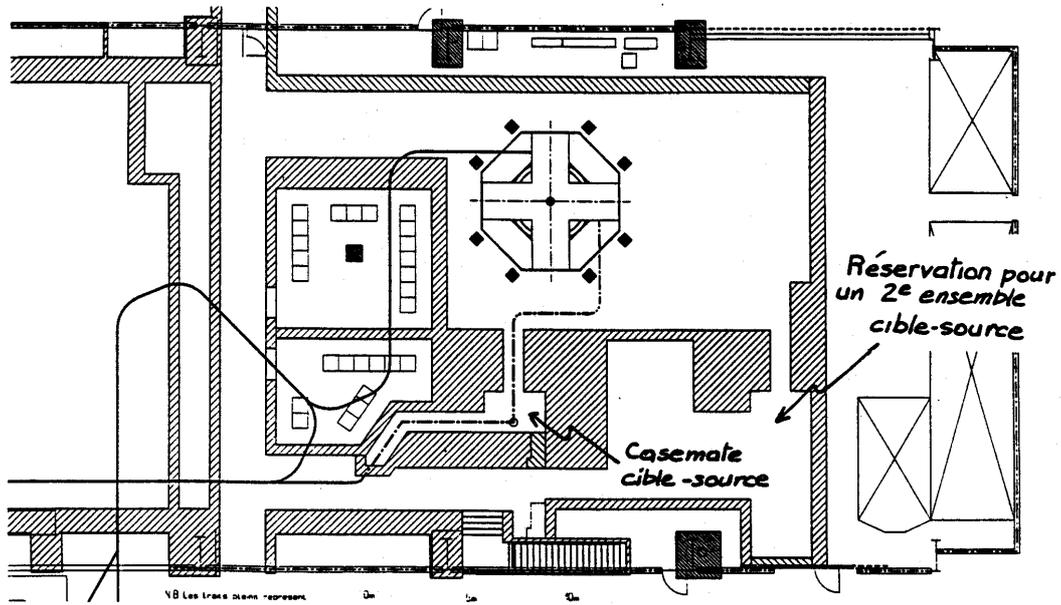


Schéma d'implantation du projet SPIRAL (sous-sol)

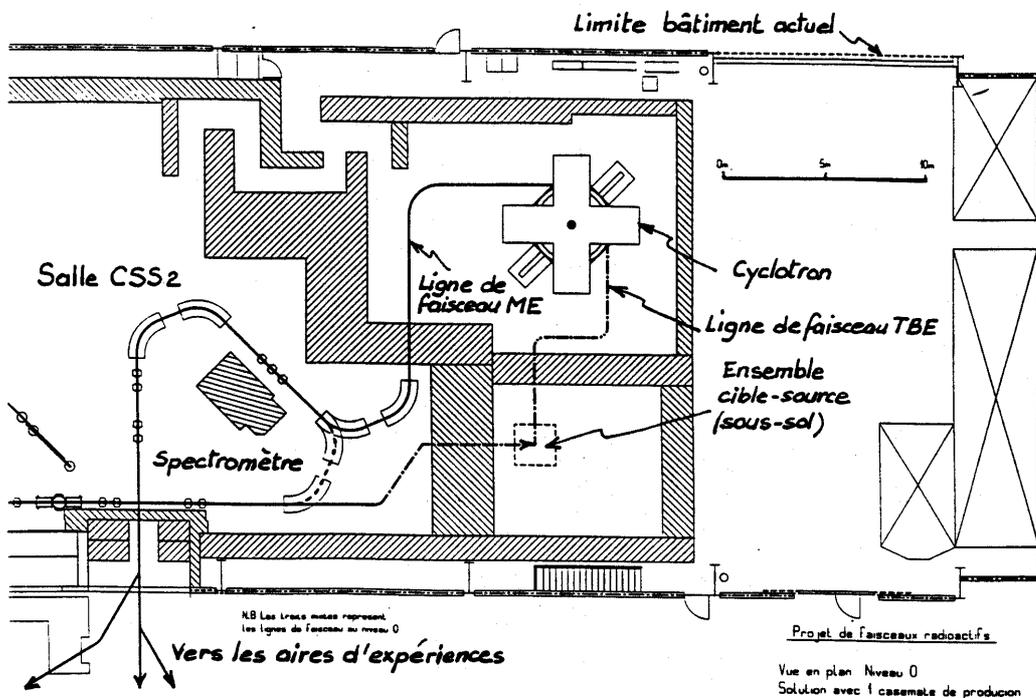
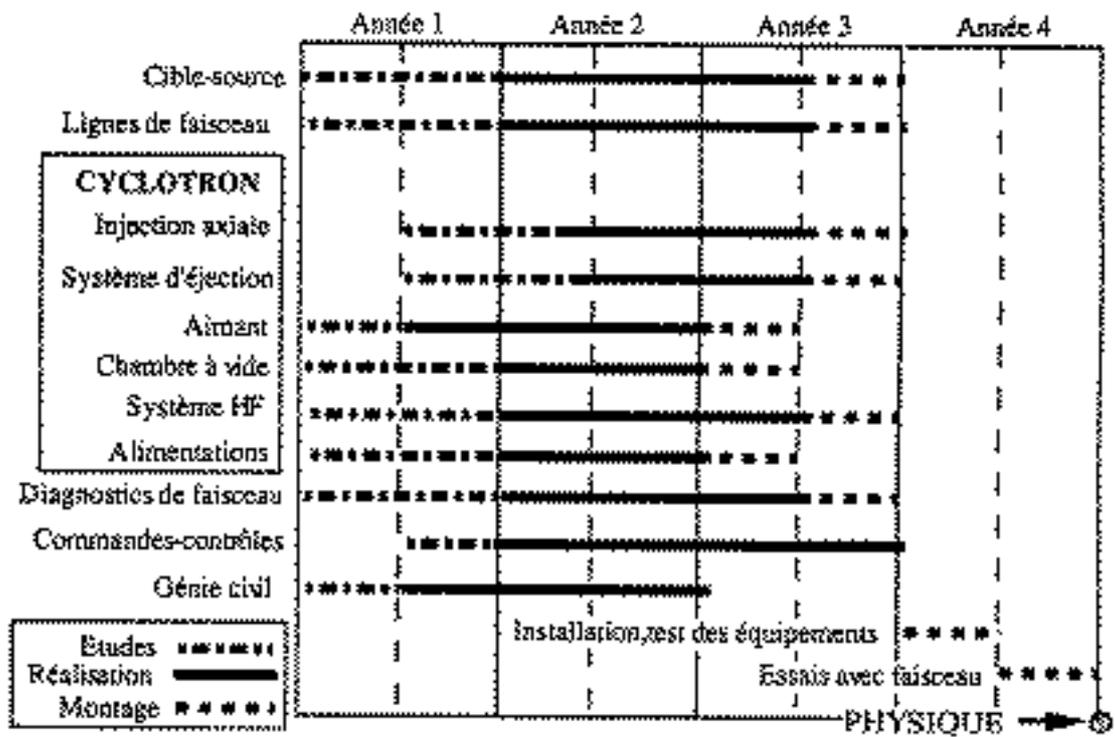


Schéma d'implantation du projet SPIRAL (rez-de-chaussée)

# ANNEXE 64

## ↳ Planning du projet SPIRAL



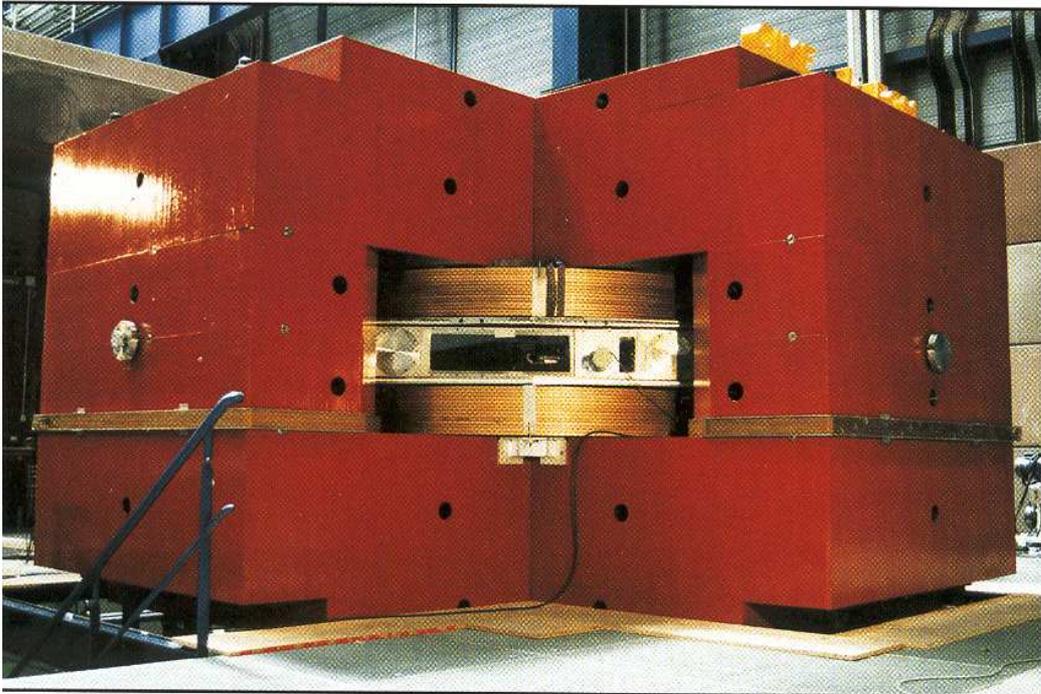
## ANNEXE 65

### ↳ Photographies de la construction



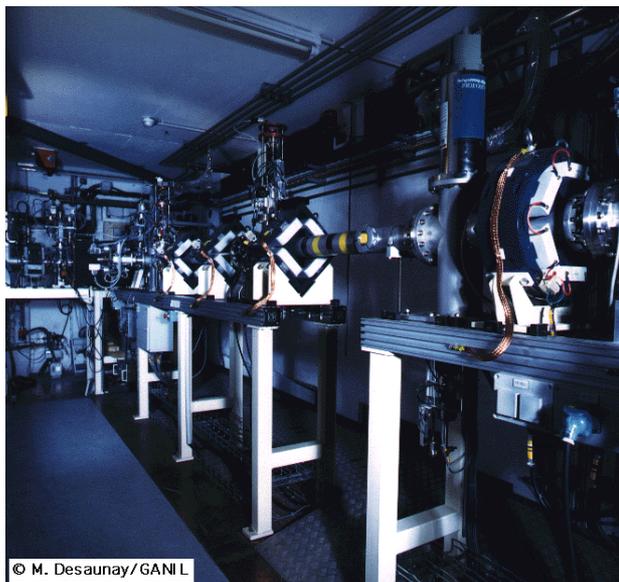
## ANNEXE 66

↪ Le cyclotron CIME en place



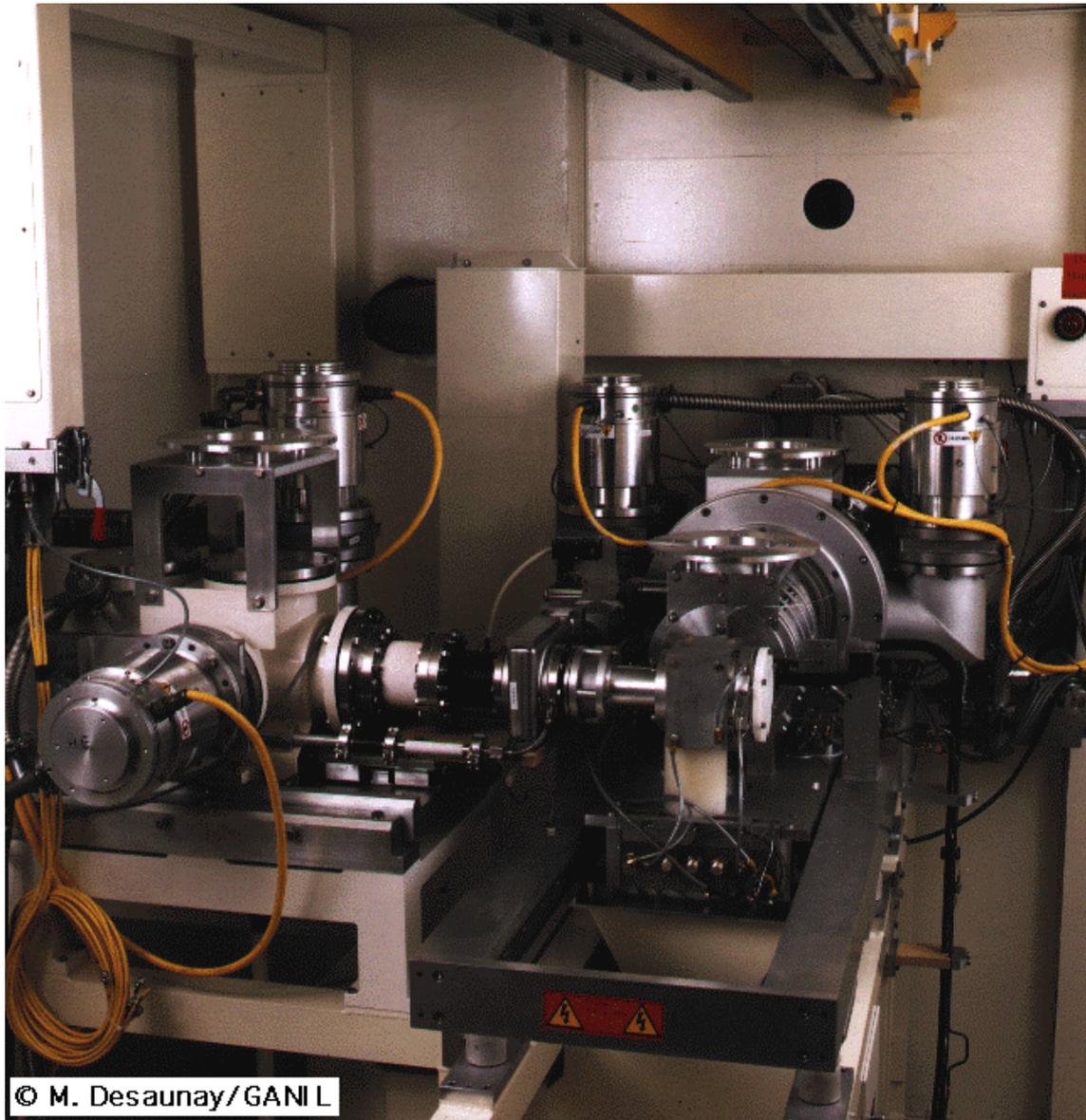
## ANNEXE 67

↳ Photographies des lignes de faisceau de SPIRAL



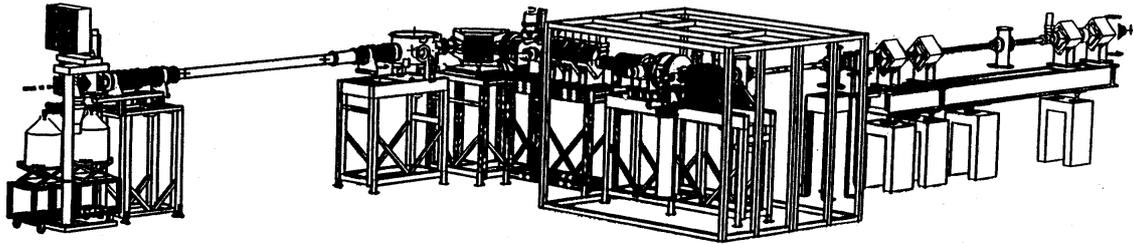
## ANNEXE 68

↳ Photographie de l'ensemble cible/source



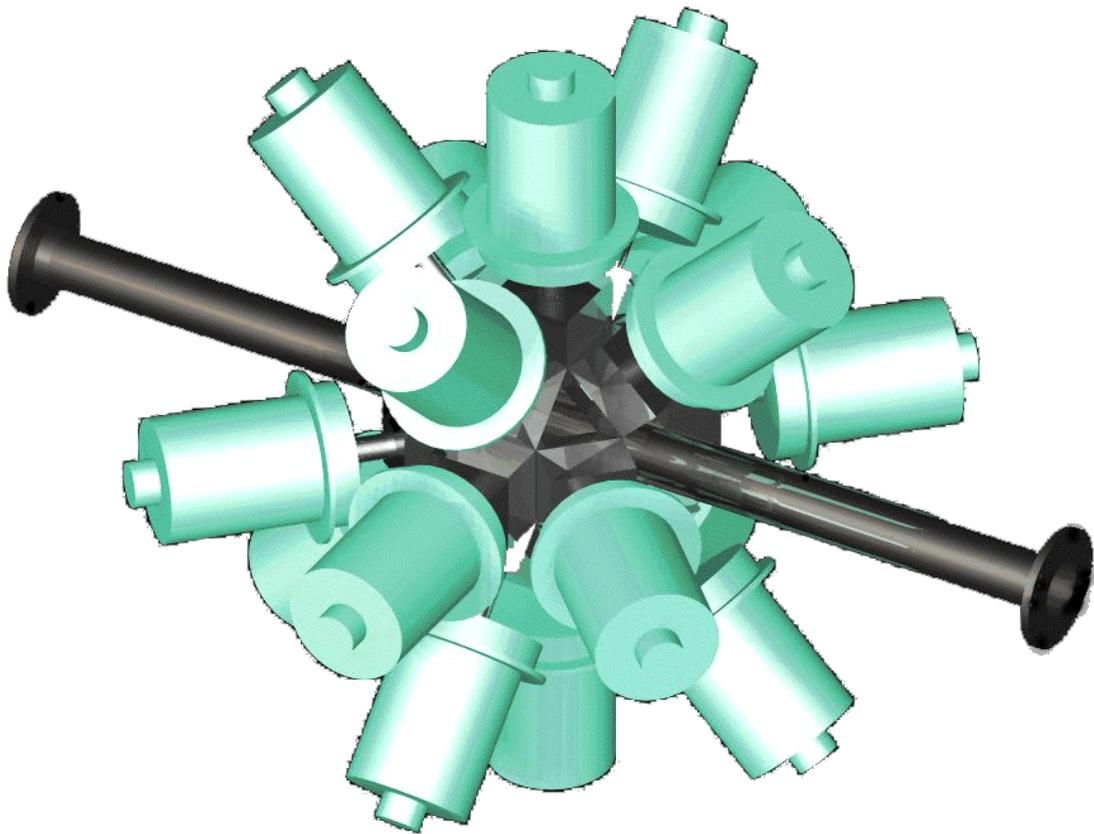
## ANNEXE 69

↳ Représentation 3D et photographies de SIRa



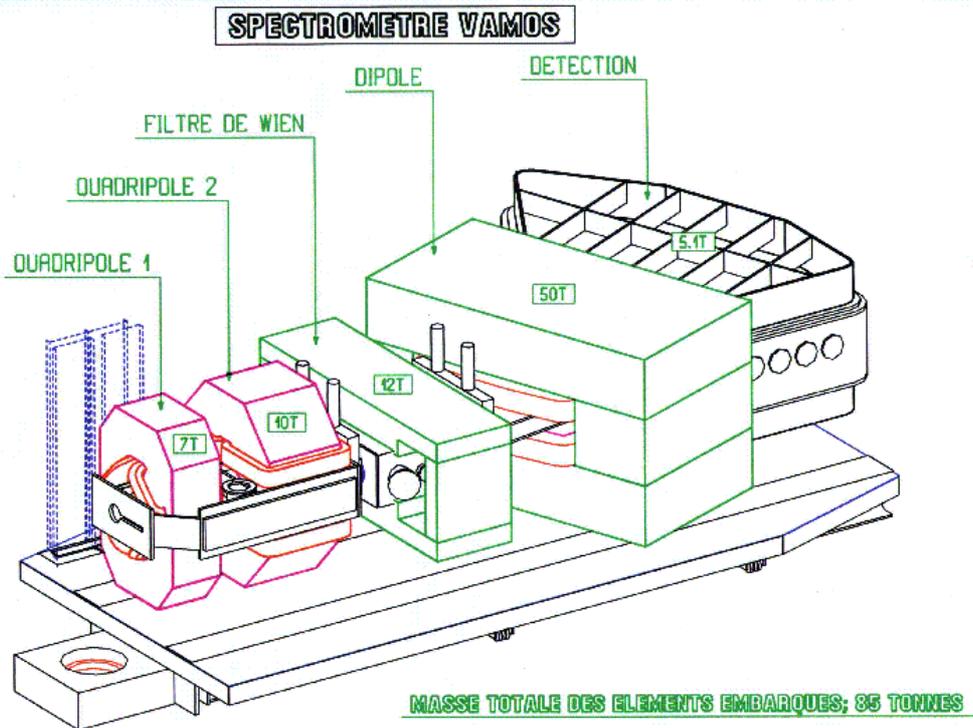
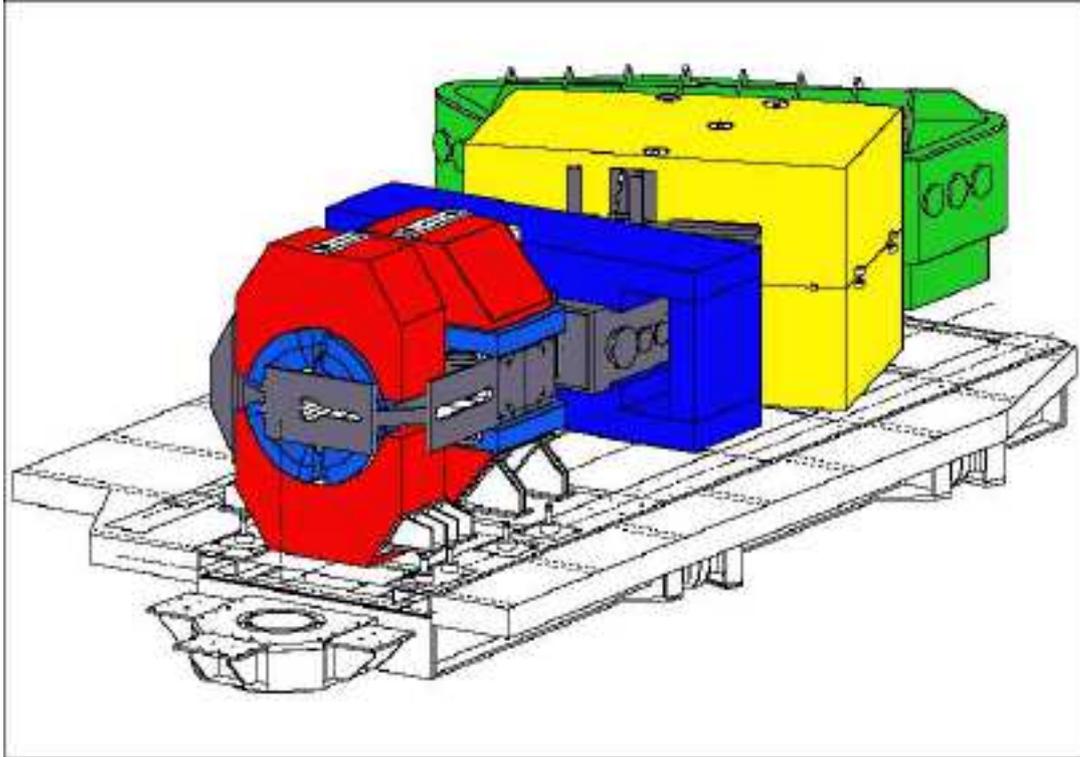
## ANNEXE 70

↪ Représentation 3D d'EXOGAM



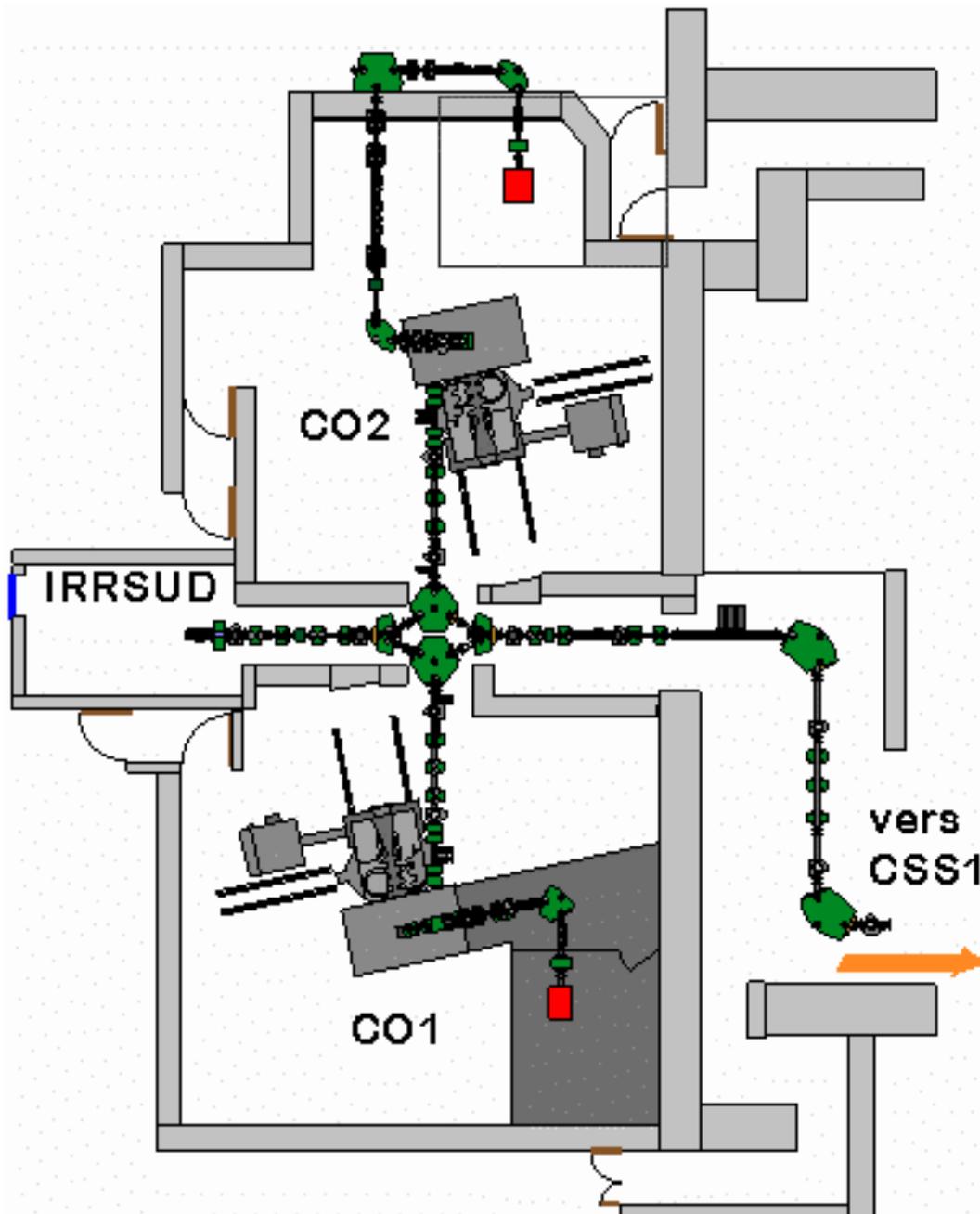
# ANNEXE 71

## ↳ Schéma de VAMOS



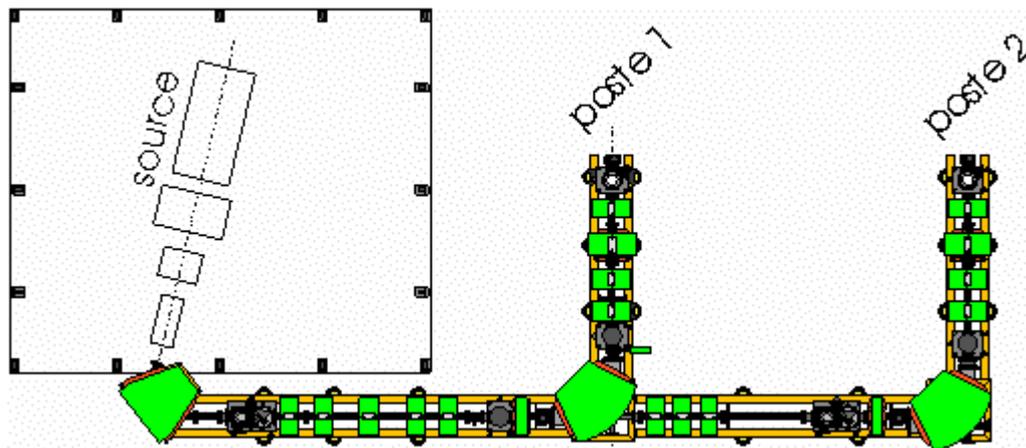
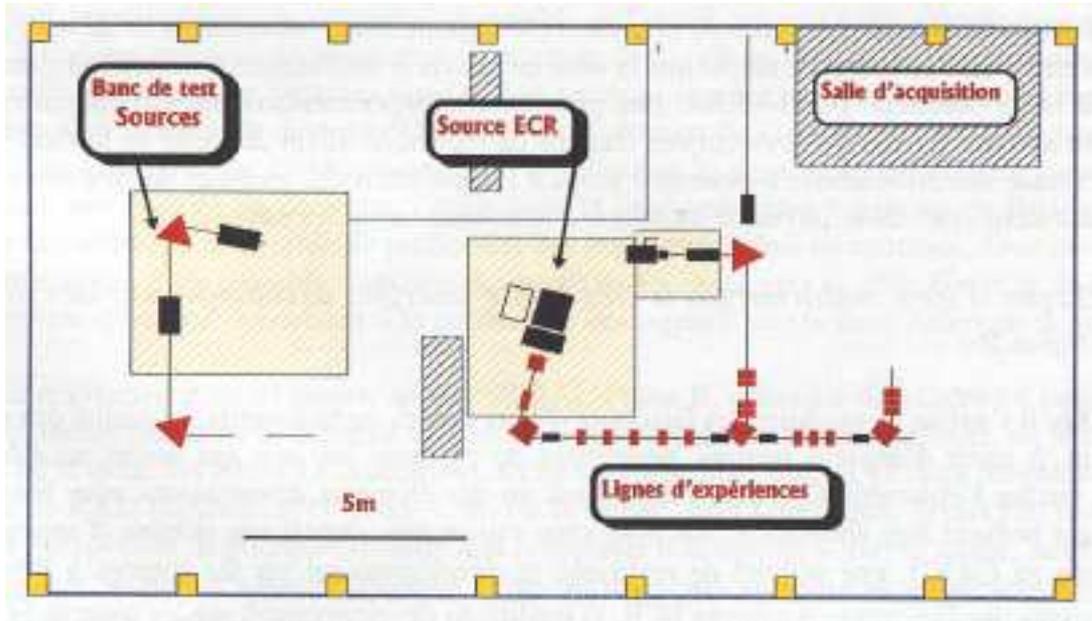
## ANNEXE 72

### ↳ Implantation de IRRSUD



# ANNEXE 73

## ↳ Implantation de LIMBE



# ANNEXE 74

↳ Schéma d'implantation de SOLEIL auprès du GANIL

