



Voyage de presse

7 novembre 2005

GANIL, CIRIL, CYCERON

Une nouvelle plateforme expérimentale pluridisciplinaire pour sonder la matière : noyaux et atomes, molécules et matériaux, ADN et chromosomes, cellules et cerveau



Lancement de SPIRAL2 au GANIL

Le projet SPIRAL2, doté d'un budget de 130,2 millions d'euros, place le laboratoire commun (groupement d'intérêt économique) de la Direction des sciences de la matière (DSM) du CEA et de l'Institut National de Physique nucléaire et de Physique des particules (IN2P3) du CNRS en « pôle position » dans la course internationale aux noyaux exotiques.

Le GANIL, un Très Grand Equipement pluridisciplinaire au service de la recherche française et européenne

En 1994, le Grand Accélérateur National d'Ions Lourds (GANIL) de Caen est devenu Grande Installation de Recherche Européenne. Avec cet équipement, la France occupe déjà une place de premier plan dans l'utilisation des faisceaux d'ions pour la recherche, de la physique de l'atome et de son noyau à la radiobiologie.

En physique nucléaire le GANIL a permis de nombreuses avancées et découvertes sur la structure du noyau de l'atome, sur ses propriétés thermiques et mécaniques. Au cours des dernières années, la recherche internationale s'est focalisée sur les noyaux exotiques. Produits lors du Big Bang et dans les étoiles, ces noyaux n'existent pas sur terre. Dès l'origine, le GANIL a été un pionnier dans l'étude de ces noyaux exotiques. Ce domaine, alors émergent, s'est révélé une véritable mine d'informations (propriétés nouvelles, cohésion accrue, déformations insoupçonnées,...), remettant en cause les connaissances sur le noyau atomique. Aujourd'hui, le GANIL est, avec ses installations SISSI et SPIRAL, parmi les premiers grands laboratoires du monde à s'être lancé dans la course aux faisceaux de noyaux exotiques. L'objectif est de produire ces noyaux de synthèse et de provoquer des réactions avec eux, pour découvrir leur nature et comprendre les lois qui gouvernent leur comportement.

Avec le lancement de SPIRAL2, le GANIL prend une longueur d'avance dans cette compétition internationale. En 2010, au cœur de la future machine, un accélérateur linéaire supraconducteur fournissant des faisceaux d'ions parmi les plus intenses au monde, produira en abondance neutrons et noyaux exotiques. SPIRAL2 ouvrira de nouveaux horizons à la physique et à l'astrophysique nucléaires mais également à l'étude des matériaux sous irradiation pour le domaine médical et celui de l'énergie.

Cette réalisation confèrera à la France une réelle avance technologique ainsi qu'une position forte dans la perspective de la construction d'une machine européenne de seconde génération : EURISOL. Le GANIL coordonne les efforts d'une large collaboration européenne visant à définir cet ambitieux projet commun. GANIL est d'ores et déjà candidat pour être le site d'accueil de cette future installation.

GANIL
Grand instrument de recherche fondamentale pour la physique nucléaire

VAMOS
Spectromètre magnétique de grande acceptance permettant l'identification des produits de réactions générés par les faisceaux exotiques.

EXOGAM
Détecteur de captures gamma dédié à la spectroscopie des noyaux exotiques.

SISSI
Un fort champ magnétique produit par des aimants supraconducteurs permet de concentrer en faisceau les rayons cathodiques générés lors de la collision du faisceau d'ions avec les atomes d'une cible.

CO, ESSY, ESS2
L'ensemble accélérateur, composé de plusieurs cyclotrons en cascade, assure la production de faisceaux d'ions stables.

LISE
Ligne de production et d'analyse de noyaux exotiques ainsi que de noyaux disséminés de leurs électrons chargés de physique atomique.

INDRA
Détecteur dédié à l'étude des noyaux chauds peuplés sous lames explosives de leur collision.

SINA
Rang fort des instruments cible-sources qui permettent de produire des noyaux exotiques et d'en combiner des faisceaux.

le GANIL (Grand Accélérateur National d'Ions Lourds), fonctionne à Caen depuis 1983. C'est un équipement commun au CEA et au CNRS. A quoi sert le GANIL ? C'est tout d'abord un instrument de recherche fondamentale pour étudier le noyau de l'atome. Au delà, la qualité de ses faisceaux en fait un outil remarquable utilisé par d'autres disciplines, par l'intermédiaire des laboratoires associés au CIRIL, rassemblés en un pôle de recherche interdisciplinaire. Ainsi, l'éventail des domaines explorés grâce aux faisceaux du GANIL s'étend de l'astrophysique à la radiobiologie, en passant par la science des matériaux et la physique atomique.

CSS : résonateur
Ensemble cible-source
Regroupeur
INDRA

VAMOS / EXOGAM **LISE** **SPEG** **PCP** **CIME**

• 1975 Création du GANIL • 1983 Première expérience • 1989 OAE (Augmentation en Energie) • 1994 OAI (Augmentation en Intensité) • 1994 SISSI (Source de noyaux exotiques) • 1995 Grande Installation Européenne • 2001 Premier faisceau SPIRAL et première expérience • 2001 Nouvel ensemble de détection : VAMOS, EXOGAM, construit par des collaborations européennes • 2005 Lancement de la construction de SPIRAL 2

GANIL GRAND ACCELERATEUR NATIONAL D'IONS LOURDS LABORATOIRE COMMUN DSM/CEA - IN2P3/CNRS | B.P. 55027 - 14076 CAEN CEDEX 5 - FRANCE | Tél 02 31 45 46 47 / Fax 02 31 45 46 65 | www.ganil.fr

Le GANIL en chiffres

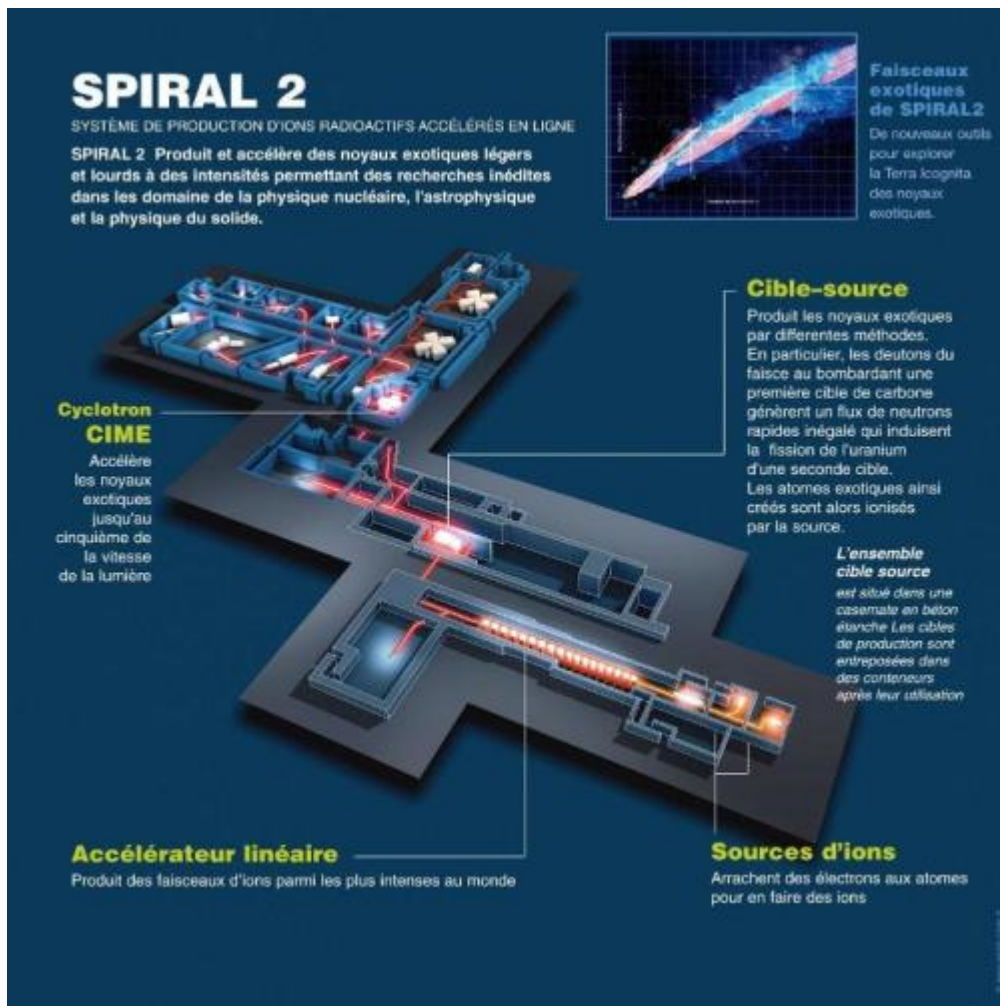
- 241 permanents CEA, CNRS et Université de Caen
- 100 stagiaires et doctorants formés chaque année au GANIL
- 474 chercheurs accueillis pour étudier le noyau atomique dont 281 chercheurs étrangers en majorité européens
- 77 instituts y menant un programme de physique nucléaire dont 65 laboratoires et universités étrangers
- 2100 publications issues du GANIL
- 9 268 000 euros de budget en 2004 dont 1 555 000 euros de la Région, les 3/4 pour la définition du projet SPIRAL 2

SPIRAL 2 : d'intenses faisceaux de noyaux exotiques

Une « usine » à noyaux exotiques

La future installation SPIRAL 2 produira en abondance des noyaux exotiques riches en protons ou en neutrons dans une large gamme de masses. Au coeur de la future machine, un accélérateur linéaire supraconducteur, délivrant des faisceaux d'ions parmi les plus intenses du monde, bombarde une cible de matière. Les réactions induites : fission, transfert, fusion, ... engendrent des milliards de noyaux nouveaux. Extraits, triés, accélérés, les noyaux les plus intéressants sont assemblés en faisceaux qui permettent des expériences inédites. Ainsi SPIRAL 2 ouvrira de nouveaux horizons à la physique et à l'astrophysique nucléaires.

Les premiers faisceaux sont attendus pour 2010.



Les secrets des nombres magiques

Les physiciens nucléaires pensaient depuis près d'un demi-siècle que les nombres 2, 8, 20, 50, 82 ou 126 étaient magiques, que tout noyau possédant un tel nombre de protons ou de neutrons serait plus stable que ses voisins. Ces nombres magiques trahissent la présence de couches où les nucléons sont ordonnés. L'étude des noyaux exotiques vient ébranler ce

paradigme. Certains nombres magiques semblent disparaître et de nouveaux apparaître. Pour comprendre, il faut poursuivre et approfondir l'exploration des propriétés des noyaux exotiques. SPIRAL 2 permettra de suivre l'évolution des nombres magiques en donnant accès à des séries d'isotopes ou d'isotones¹ inédites.

Un univers magique

Les noyaux exotiques jouent un rôle essentiel dans la synthèse des éléments de l'Univers. Pour comprendre l'abondance des éléments sur Terre et leurs origines, il faut connaître les propriétés des noyaux radioactifs dont ils sont issus. Certains noyaux exotiques et processus clé peuvent donner lieu à des mesures directes. SPIRAL 2 produira de nombreux noyaux exotiques mis en jeu dans différents processus de nucléosynthèse. Toutefois seuls des modèles nucléaires fiables, validés pour des noyaux exotiques, fourniront l'énorme quantité de données requises. Certaines propriétés comme les couches et les nombres magiques jouent un rôle important dans la genèse de nouveaux éléments car elles affectent directement leur stabilité.



La carte des noyaux représente chaque nucléide positionné en fonction du nombre de ses protons et de ses neutrons.

- Les cases blanches sont les 291 noyaux que l'on trouve à l'état naturel sur Terre.
 - La zone bleu clair délimite les 2000 noyaux synthétisés en laboratoire.
- La zone bleu foncé correspond à l'ensemble des noyaux, prédits par la théorie comme étant liés.
- Les zones roses et rouges indiquent les noyaux qui seront potentiellement accélérés en faisceaux par SPIRAL 2.

Les chiffres portés correspondent aux nombres magiques de protons ou de neutrons qui donnent aux noyaux une stabilité accrue.

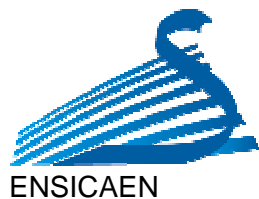
Les zones cerclées indiquent les noyaux exotiques qui pourront être produits puis accélérés en faisceaux.

Une plateforme pluridisciplinaire

Cette nouvelle plateforme expérimentale rassemblera également des chercheurs en physique atomique, en physique du solide et en radiobiologie autour de l'étude de la matière sous

¹ Les noyaux atomiques sont constitués de neutrons et de protons. Les isotopes sont des noyaux qui contiennent le même nombre de protons, mais un nombre de neutrons différent. Les isotones sont des noyaux qui contiennent le même nombre de neutrons, mais un nombre de protons différents.

irradiation. De plus, SPIRAL 2 sera la source de neutrons rapides la plus performante pour les dix prochaines années. Elle permettra d'effectuer des mesures de données neutroniques qui contribueront à rendre l'énergie nucléaire encore plus sûre et respectueuse de l'environnement. Avec cet investissement, financé par la Direction des Sciences de la Matière (DSM) du CEA, par l'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules (IN2P3) du CNRS, par la Région Basse-Normandie et les collectivités territoriales, avec le soutien de l'Union Européenne et des collaborations internationales, la recherche française s'inscrit pleinement dans une dimension européenne.



Inauguration d'ARIBE au CIRIL

L'installation ARIBE (Accélérateurs pour les recherches avec les ions de basses énergies) est l'extension des faisceaux du GANIL vers les très basses énergies. Cet équipement, ouvert à l'ensemble de la communauté scientifique internationale, est un outil performant pour l'étude des excitations électroniques induites par des ions multichargés de très basse énergie.

Le Centre Interdisciplinaire de Recherche Ions Lasers (CIRIL) : utiliser les faisceaux du Ganil pour exciter les électrons

Le CIRIL est une unité mixte CEA(DSM/DRECAM²)-CNRS(SPM³)-ENSICAEN⁴, adossée au GANIL. Il utilise ses faisceaux d'ions pour étudier l'interaction des ions avec la matière (en particulier avec les électrons, les conséquences de ces excitations électroniques pour la matière) et l'utilisation des effets induits.

Ces recherches concernent une large communauté scientifique dont les problématiques couvrent tout le champ de recherche, depuis le premier instant de la collision d'un ion avec un atome, jusqu'aux effets à très long terme. La relaxation d'un petit ensemble d'atomes (physique moléculaire et des agrégats), le transport des ions dans les solides et l'émission d'électrons (physique atomique), les modifications des propriétés physico-chimiques des matériaux (physique de l'irradiation et de la matière condensée), les processus physico-chimiques induits dans le sillage d'un ion (chimie sous rayonnement), la simulation du comportement des matériaux du nucléaire, la nano-structuration des matériaux et la radiobiologie sont autant d'activités utilisant les différents niveaux d'énergie accessibles au GANIL. Aussi, le CIRIL a-t-il développé auprès des différents cyclotrons du GANIL des équipements spécifiques pour ces recherches.

Les recherches interdisciplinaires menées au CIRIL

Les recherches interdisciplinaires avec les faisceaux du GANIL ont pour objectifs la compréhension des mécanismes mis en jeu lors des excitations électroniques des matériaux en ayant une démarche cohérente depuis les mécanismes élémentaires jusqu'aux modifications structurales et leurs conséquences sur les propriétés fonctionnelles des matériaux.

Relaxation d'un petit ensemble d'atomes excités électroniquement

² Direction des sciences de la matière/Département de recherche sur l'état condensé, les atomes et les molécules.

³ Sciences physiques et mathématiques

⁴ Ecole nationale supérieure d'ingénieur de Caen

Les ions du GANIL sont des outils extrêmement efficaces pour ioniser et exciter les atomes, les molécules et les agrégats. Les outils développés pour ces études permettent de décrire l'état d'excitation de cet ensemble d'atomes, leur limite de stabilité et les voies de fragmentation. L'installation ARIBE sera particulièrement utile pour ces recherches.

Modifications de la matière excitée

Les fortes densités d'excitation créées dans la matière par les ions multichargés conduisent très souvent à de profondes modifications structurales des matériaux et à l'éjection de nombreuses particules.

Les expériences avec les ions du GANIL ont permis de décrire le transport des ions dans les solides, l'état du matériau dans le sillage de l'ion et les conditions d'apparition des modifications structurales.

Chimie sous rayonnement

Que ce soit dans l'eau, les polymères ou la matière vivante, les excitations électroniques initient des réactions chimiques radicalaires.

Les ions du GANIL permettent de faire varier et d'analyser in situ les effets de la densité locale de radicaux.

Nanostructuration des matériaux

Les modifications induites le long de la trajectoire d'un ion lourd permettent d'élaborer des objets de taille nanométrique (pores, fils...)

Radiobiologie

La conséquence des effets des ions sur la matière, de leurs mécanismes d'induction et de leurs conséquences est utile pour estimer les risques pour les personnes exposées aux ions mais aussi pour l'utilisation des ions en radiothérapie. C'est l'intérêt des ions lourds, qui permettent d'induire en laboratoire et avec une grande efficacité de nombreux dommages biologiques : mort cellulaire, cassures de l'ADN, aberrations chromosomiques, mutations...

Le CIRIL en quelques chiffres

Créé en 1982, statut modifié en 1998

75 personnes dont 39 chercheurs et enseignants-chercheurs et 17 doctorants et post-doctorants

Accueil d'environ 250 personnes par an pour les recherches interdisciplinaires

920 publications et 50 thèses depuis 1982

ARIBE : Accélérateurs pour les recherches avec les ions de basses énergies

A basse énergie, les ions multichargés interagissent par des processus de capture électronique multiple qui sont à l'origine de très fortes perturbations du système électronique de la matière. Dissociation moléculaire, fragmentation d'agrégats, émission de particules et modifications des surfaces en sont les principales conséquences dont les mécanismes restent imparfaitement connus bien que jouant un rôle important pour la recherche fondamentale dans différents domaines (astrophysique et astrobiologie, physique atomique et moléculaire, physique d'agrégats, des surfaces et des plasmas, chimie et radiobiologie), mais aussi dans des champs plus appliqués (nanostructuration, traitement de surfaces).

ARIBE est une plate-forme dédiée aux recherches interdisciplinaires avec des ions de basse énergie qui élargit le spectre des services fournis à la communauté grâce à l'évolution des faisceaux d'ions vers des énergies plus faibles, vers des systèmes plus complexes (agrégats et biomolécules) et par une augmentation du nombre de postes d'expériences.

Avec ses deux sources d'ions et ses différentes lignes de faisceaux, ARIBE offre un outil performant à la communauté internationale. Ses trois dispositifs sont les suivants :

Les lignes de faisceaux de haute intensité (LHI)

Elles délivrent des faisceaux d'ions fortement chargés. Une source d'ions très performante délivre des faisceaux d'ions fortement chargés (Ar^{17+} , Xe^{30+} par exemple) et de haute intensité. L'accélérateur couvre une gamme d'énergie allant de 5 keV à 25 keV par charge avec une bonne émittance tout en gardant des courants importants. L'augmentation récente de deux à sept du nombre de postes d'expériences permet l'installation d'expériences lourdes sur des périodes longues.

La ligne de très basse énergie (LTBE)

Elle est optimisée pour délivrer des faisceaux d'ions multichargés à des énergies aussi faible que 1 eV par charge. Dans ce domaine de vitesse, l'interaction des ions avec la matière est déterminée par l'énergie potentielle des ions multichargés. Ainsi la phase d'interaction avec des surfaces isolantes ou des agrégats métalliques ou semi-conducteurs se produit lors de collisions « sans contact ». Le challenge consiste à décélérer un faisceau de 20 kV par un facteur 20 000 en gardant ses propriétés optiques.

La ligne d'agrégats sélectionnés en taille (LAST)

Elle a pour objectif de fournir des faisceaux d'agrégats sélectionnés en taille et donc d'ouvrir l'accélérateur à de nouvelles applications. LAST peut fournir des faisceaux d'agrégats métalliques ou semiconducteurs à des énergies de quelques eV à quelques keV. Le métal ou le semi-conducteur est pulvérisé par une décharge « *magnétron* », les atomes émis se condensent dans une atmosphère d'hélium refroidie à la température de l'azote liquide. Les agrégats chargés sont séparés par un système de « *temps de vol* » et un quadropole électrostatique. Les agrégats seront utilisés comme cibles complexes pour la recherche fondamentale. De plus, après une forte décélération, ils pourront être déposés sur des substrats ou dans des matrices, afin d'étudier leur interaction avec l'environnement ou de développer de nouvelles méthodes de nano-structuration. Il est prévu de développer des faisceaux de molécules d'intérêt biologique pour le traitement des surfaces des matériaux utilisés dans le domaine médical.

L'installation d'ARIBE fait partie d'une Infrastructure Européenne Distribuée, intitulée *LEIF*, qui coordonne les activités auprès de cinq infrastructures européennes d'ions de basse énergie, situées dans cinq pays différents : Allemagne (MPIK Heidelberg), Danemark (University of Aarhus), France (CIRIL), Pays-Bas (KVI), Royaume Uni (Queen's University of Belfast). Dans le 6ème PCRDT, cette activité est soutenue par le projet « *ITS LEIF* » (2006-2009 : Ion Technology and Spectroscopy at Low Energy Ion beam Facilities) qui inclut 32 groupes de recherche (infrastructures et utilisateurs, laboratoires et industrie) venant de 18 pays européens différents. Ce projet a pour but de favoriser l'accès transnational aux ions multichargés de basse énergie, d'initier des développements techniques communs afin de garantir une instrumentation et des infrastructures au plus haut niveau et d'améliorer la communication et l'échange du personnel ainsi que du matériel.