

Spiral2

PRINCIPE

Produits par deux sources d'ions, des faisceaux de particules chargées sont guidés et accélérés par les champs électriques et magnétiques d'un accélérateur linéaire, le Linac. Ils sont ensuite acheminés dans des salles d'expériences où ils sont projetés sur des cibles de matière pour produire des neutrons ou des **noyaux exotiques** utilisés pour des études en physique fondamentale et appliquée.

Noyau exotique

Noyau atomique instable existant dans le cosmos, mais pas naturellement sur Terre.

Deuton (ou deutéron)

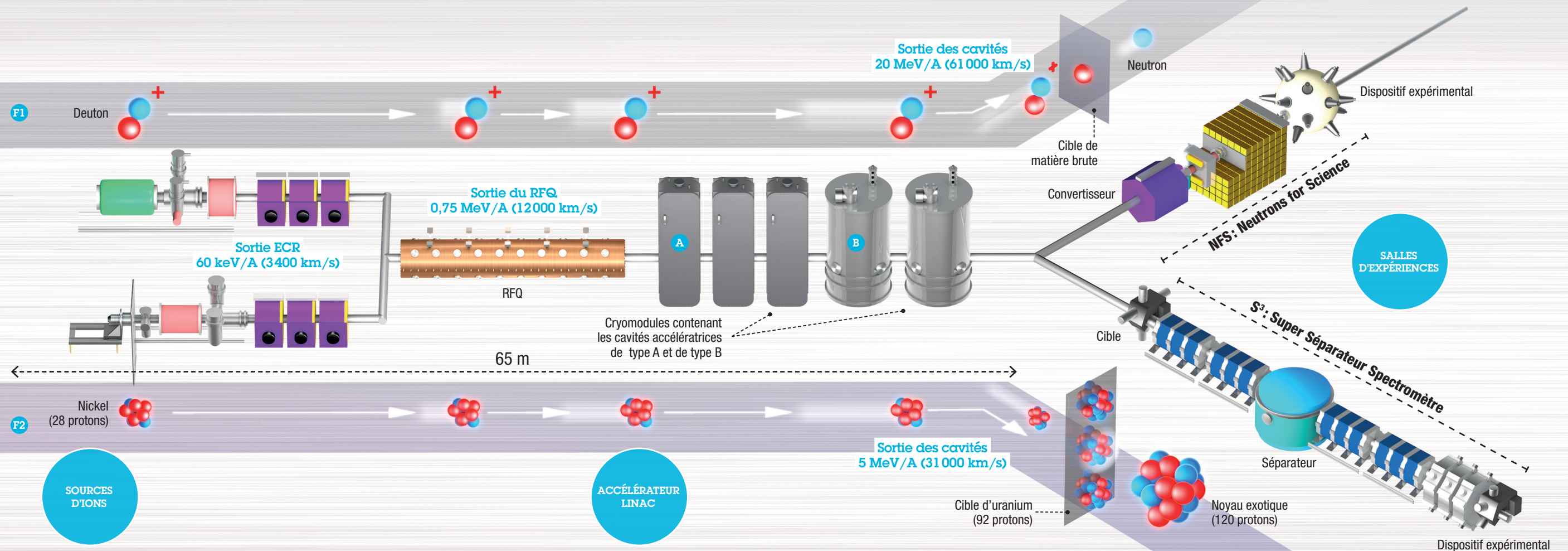
Noyau d'hydrogène lourd (le deutérium) composé d'un proton et d'un neutron.

Intensité

Courant électrique associé aux particules chargées présentes dans le faisceau ou nombre de particules traversant une section de l'accélérateur par unité de temps.

Super-lourd

Noyau comptant plus de 110 protons.



1- Production de faisceaux d'ions stables

Un atome ne pouvant être accéléré que s'il est chargé électriquement (c'est-à-dire transformé en ion), des sources de type *Electron Cyclotron Resonance* (ECR) transforment des atomes injectés sous forme gazeuse en ions, en leur arrachant des électrons. Deux types de faisceaux sont produits en continu, en fonction de la source d'ions utilisée :

- 1 des particules légères (protons, **deutons** et particules alpha) jusqu'à une **intensité** de 5 mA ;
- 2 des ions lourds (allant du carbone-12 à l'uranium-238) jusqu'à une intensité de 1 mA.

2- Accélération des faisceaux d'ions

Les faisceaux d'ions sont envoyés dans l'accélérateur linéaire (Linac). Ils passent tout d'abord dans un quadropôle radio-fréquence (RFQ) qui les met en « paquets » et les pré-accélère.

Ces paquets d'ions sont ensuite injectés dans une succession de cavités accélératrices supraconductrices, enfermées dans des cryomodules à -269 °C. Ils sont ainsi accélérés par étapes au moyen de champs électriques intenses.

Finalement, les faisceaux d'ions sont distribués par des lignes « haute énergie » aux salles d'expériences NFS et S³.

3- Production de neutrons et de noyaux exotiques

1 Les faisceaux intenses de particules légères, comme les protons et les deutons, sont acheminés dans la salle NFS (*Neutrons for Science*) et précipités sur une cible de lithium, de béryllium ou de carbone pour être convertis en faisceaux de neutrons. Ces derniers, dont les plus rapides atteignent 85 000 km/s, sont projetés sur d'autres cibles à des fins d'expériences de physique fondamentale et appliquée. Exemples d'études : les réactions induites par neutrons comme la fission, des mesures d'activation par neutrons...

2 Les faisceaux d'ions lourds de très haute intensité entrent en collision avec des cibles de matière brute (~0,5µm d'épaisseur) dans la salle S³ (Super Séparateur Spectromètre). Objectif : fabriquer des noyaux exotiques déficients en neutrons ou **super-lourds** par fusion des noyaux des projectiles avec ceux des atomes de la cible. La probabilité qu'une fusion se produise étant extrêmement faible, des dizaines de milliers de milliards d'ions lourds sont envoyés sur la cible chaque seconde. Puis, S³ trie et identifie les noyaux exotiques d'intérêt, parmi les millions d'autres produits, en fonction de leur masse et de leur énergie.

TOUT
S'EXPLIQUE



La carte des noyaux

Les éléments chimiques ont leur tableau et les noyaux leur carte! Celle-ci les organise par ordre croissant en fonction de leur nombre de neutrons (d'ouest en est) et de protons (du sud au nord). En son sein se trouve la « vallée de la stabilité » qui abrite les quelque 290 noyaux stables composant notre environnement (zone ❶) et qui ont servi de base à la modélisation du noyau atomique.

Dans les contrées avoisinantes (zones ❷), se trouvent les quelque 2 800 noyaux exotiques synthétisés en laboratoire à ce jour. Mais d'après les modèles,

il en existe plus de 5000 à découvrir (zone ❸ tout en haut de la carte des noyaux)! Cette *Terra incognita* va être partiellement accessible avec Spiral2, dont, en particulier, la région des noyaux super-lourds qui enferme peut-être un îlot de stabilité.

Ce travail représente un énorme enjeu pour la compréhension du monde qui nous entoure, car les noyaux stables dont il est constitué sont les cendres de noyaux exotiques produits dans les étoiles et recréés en laboratoire...

Spiral2 et les chercheurs du CEA

L'institut Irfu du CEA a assuré le suivi de l'assemblage d'une pièce maîtresse de l'accélérateur linéaire de Spiral2, un quadripôle radiofréquence (RFQ) en cuivre ultra-pur; RFQ dont il a contribué à la conception. Grâce à l'expertise de ses chercheurs, l'amplitude du champ électromagnétique dans le RFQ a été optimisée pour assurer le confinement le plus efficace possible des particules avec, notamment, une consommation électrique minimale. Cela a impliqué un assemblage minutieux (avec une précision de l'ordre de quelques dizaines de microns), afin d'obtenir l'accord en fréquence et la loi de tension requis par la dynamique du faisceau.

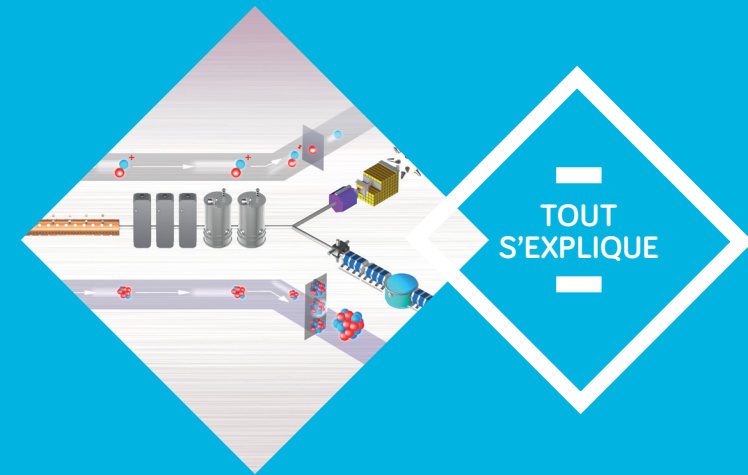
Par ailleurs, les équipes ont développé et testé les 12 cryomodules de type A. La préparation des cavités en niobium et l'assemblage du cryomodule en salle blanche ont nécessité des compétences et un savoir-faire spécifiques. Après livraison des 12 éléments au Ganil, le CEA a chapeauté leur intégration sur site.

Enfin, l'Irfu a pris en charge la première partie de la ligne S³ qui filtre la majorité (> 99,9 %) du faisceau incident traversant la cible sans interagir. Il est également fortement impliqué dans le système de détection haute résolution pour la spectroscopie proton, alpha, électron et gamma des noyaux exotiques produits et sélectionnés.

www
cea.fr/go/visite-ganil

© www.groupeorange.fr

les défis 212
du cea



Spiral2

Spiral2 est un accélérateur de particules inédit. Non seulement il délivre des faisceaux d'ions lourds parmi les plus puissants au monde, mais également des particules légères permettant de générer des flux de neutrons très intenses.

En ligne de mire : la fabrication de noyaux exotiques, n'existant que dans le cosmos, pour explorer cette *Terra incognita* qui renferme les clés pour comprendre l'origine et la structure de la matière.

ENJEUX SCIENTIFIQUES ET ÉCONOMIQUES



Spiral2 (Système de Production d'Ions Radioactifs Accélérés en Ligne de 2^e génération) va apporter des flux de neutrons rapides très intenses et donner accès à des noyaux exotiques, inconnus jusqu'ici, qui n'existent que dans le cosmos. Et ce, avec des faisceaux d'ions d'une puissance allant jusqu'à 200 kW. Une première au monde!

Ces performances vont permettre des études scientifiques jusqu'alors impossibles en physique fondamentale et appliquée. Grâce aux salles d'expériences S³ et NFS de l'installation (une troisième appelée Desir est prévue pour 2022), il s'agira, par exemple, de produire de nouveaux

éléments chimiques pour compléter le tableau de Mendeleïev; de comprendre et modéliser les propriétés, la structure et la formation des noyaux exotiques; ou encore d'étudier l'influence des rayonnements sur la matière.

Installé à Caen, Spiral2 vient agrandir le Ganil (Grand accélérateur national d'ions lourds) piloté et financé par le CEA et le CNRS. De par son implantation, ce dernier contribue à l'essor économique de la région Normandie et la place en position forte pour accueillir le grand projet européen d'usine à noyaux exotiques Eurisol.