



## Au cœur des nanosciences et des matériaux pour le nucléaire

### Inauguration de la plateforme JANNuS, Jumelage d'Accélérateurs pour les Nanosciences, le Nucléaire et la Simulation

**Le 27 juin dernier, la plateforme JANNuS - Jumelage d'Accélérateurs pour les Nanosciences, le Nucléaire et la Simulation - a été officiellement inaugurée par Valérie PECRESSE, ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, et Eric BESSON, ministre chargé de l'Industrie, de l'Energie et de l'Economie numérique.**

L'occasion pour nous de découvrir ce nouvel outil, unique en Europe, dont les applications visent tout particulièrement les nanosciences et le développement de matériaux pour le nucléaire. Ouverts à la communauté scientifique internationale et aux industriels, ses équipements de pointe sont répartis sur deux sites : Orsay et Saclay. Entrons !

#### Deux sites et pour chacun, ses équipements de pointe !

La plateforme JANNuS permet d'irradier des matériaux par des flux de particules chargées. Deux centres expérimentaux accueillent son équipe (une vingtaine de chercheurs permanents) et ses instruments de toute dernière génération : le Centre de spectrométrie nucléaire et de spectrométrie de masse (unité mixte de recherche CNRS et Université Paris-Sud) à Orsay, et le Département des matériaux pour le nucléaire du CEA à Saclay.

#### → A Orsay, un microscope électronique en transmission couplé à deux accélérateurs :

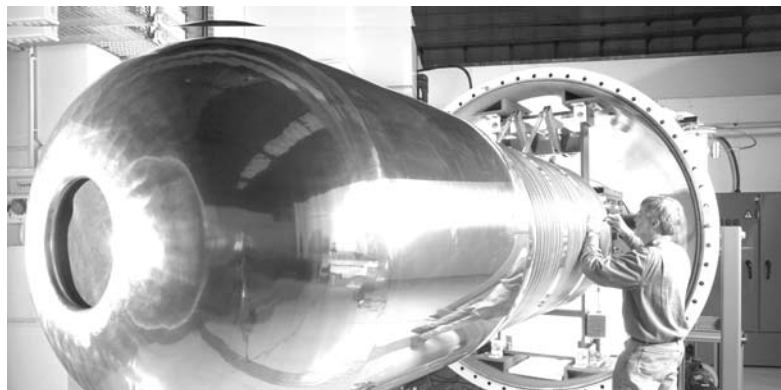
La plateforme expérimentale JANNuS - Orsay est dotée d'un microscope électronique en transmission (MET)

couplé à deux accélérateurs d'ions réalisés par le CNRS : ARAMIS (tandem 2 Mégavolts) et IRMA (implanteur d'ions 190 kV).

Son principal atout repose sur sa capacité à produire une large gamme de conditions d'implantation et d'irradiation par des ions. La plupart des éléments du tableau périodique sont accessibles, avec une énergie comprise entre 10 keV et 4 MeV, ce qui permet d'observer en MET *in situ*, en temps réel, les interactions d'un ou deux faisceaux d'ions et du faisceau d'électrons avec la matière.

Les équipements d'analyse du MET associés à une large gamme de porte-échantillons (refroidissement à l'azote liquide, chauffage jusqu'à 1 300° C), offrent un grand potentiel pour étudier simultanément les modifications structurales et/ou chimiques et les défauts engendrés dans les matériaux par l'irradiation et/ou l'implantation ioniques. Ils permettent ainsi de remonter aux processus élémentaires (jusqu'à l'échelle atomique) qui régissent le comportement des matériaux sous faisceaux d'ions : changements de phase et ségrégation, mélanges d'atomes/couches et désordre chimique, croissance de grains, précipitation, nature et évolution des défauts, formation, croissance, coalescence de bulles et de défauts, cascades de collisions, ionisation...

Parmi les études déjà réalisées, on peut citer le dopage de semi-conducteurs, l'étude de la stabilité de phases, des recristallisations, ou inversement des amorphisations, sous irradiations,



Accélérateur électrostatique d'ions Épiphée au CEA Saclay (© A. Godin CEA)

les effets dans les isolants et les polymères, la préparation d'échantillons implantés pour l'étude de leurs propriétés électroniques et structurales, l'observation *in situ* des cinétiques de transformation durant l'irradiation, l'implantation...

#### → A Saclay, trois accélérateurs couplés pour un triple faisceau d'ions :

En réacteur nucléaire, l'irradiation neutronique va « endommager » les matériaux de deux façons :

- déplacement des atomes dans le matériau, qui peut être simulé en bombardant un échantillon par des ions lourds, comme le fer ou le nickel, accélérés jusqu'à une énergie de 30 MeV ;

- modification de sa composition chimique par l'introduction d'hélium et d'hydrogène, consécutive aux réactions nucléaires induites par les neutrons.

Pour simuler ces différents processus physico-chimiques, la plateforme JANNuS - Saclay associe trois accélérateurs électrostatiques d'ions avec des gammes larges et complémentaires de particules et d'énergie :

→ Épiphée, PelletronTM simple étage de 3 MV à source d'ions multichargés, fonctionnant à partir de gaz ou de composés organométalliques volatils ;

→ Japet, PelletronTM tandem de 2 MV à source d'ions à échange de charge (hydrogène, chlore, iode, ions métalliques) ;

→ Yvette, Van de Graaff simple étage de 2,5 MV à source d'ions radiofréquence (hydrogène et hélium).

Le porte-échantillon de la chambre triple faisceau fonctionne entre la température de l'azote liquide et 850° C. L'installation dispose également d'une chambre d'irradiation monofaisceau connectée à l'accélérateur Épiphée et d'une chambre instrumentée d'analyse par faisceaux d'ions liée à l'accélérateur Yvette.

Grâce à ses trois faisceaux d'ions, JANNuS-Saclay est la deuxième installation au monde capable de reproduire simultanément l'ensemble des effets physiques et chimiques induits lors de l'irradiation d'un matériau nucléaire par des neutrons, et ceci de façon très accélérée : là où les matériaux subissent quelques dpa (déplacements par atome) par an dans un réacteur à eau sous pression ou une vingtaine de dpa par an dans un réacteur à neutrons rapides, on peut obtenir 100 dpa par jour dans JANNuS (c'est-à-dire que chaque atome s'est déplacé en moyenne 100 fois). Ces effets sont étudiés simultanément ou de manière dissociée dans des métaux, des alliages, des verres, des céramiques ou des matériaux composites. Comme les échantillons ne sont pas radioactifs, ils peuvent par ailleurs être ensuite caractérisés dans des équipements standards.

Prenons pour exemple la première irradiation triple faisceau réalisée en mars 2010. Lors de cette expérience, un acier avancé, développé pour les réacteurs du futur, a été simultanément bombardé pendant 5 heures pour atteindre un taux d'endommagement d'environ 7 déplacements par atome (dpa). Cela correspond au dommage subi par une gaine de réacteur à eau pressurisée pendant 4 ans ou par une gaine de réacteur à neutrons rapides refroidi au sodium pendant 3 mois.

#### Des applications clés....

Unique en Europe, la plate-forme JANNuS offre la possibilité d'étudier l'évolution de la structure de la matière, de sa composition chimique ▶▶▶

### Des marques prestigieuses au service du laboratoire



Reconnu comme premier fabricant mondial de consommables réutilisables verre et plastique, nous fournissons au monde scientifique des marques prestigieuses et incontournables. Notre réputation repose principalement sur le respect des normes internationales les plus strictes et le contrôle qualité minutieux apporté à tous nos produits.

Aujourd'hui nous proposons une gamme de plus de 3000 références, parmi lesquelles des articles phares comme les béchers, les éprouvettes ou les pissettes. A cette offre vient également s'ajouter de nombreux produits en acier inoxydable. Pour en savoir plus :

[www.scilabware.com](http://www.scilabware.com) ou [bibby-scientific.fr](http://bibby-scientific.fr)



et de ses propriétés physiques en fonction des conditions d'irradiation : différents types d'endommagement obtenus en un temps très court, grâce à la « co-irradiation » par 2, voire 3 faisceaux différents.

→ **pour les nanosciences**, les équipements de JANNuS permettent de modifier de façon contrôlée des matériaux d'intérêt technologique par implantation/irradiation. En implantant des ions de nature différente dans un matériau, on a la possibilité de synthétiser des matériaux hors équilibre, ce qui est impossible à réaliser par voie chimique. La structure intime de ces matériaux est alors modifiée, et le système peut présenter des propriétés physiques, thermiques, mécaniques, électriques, magnétiques ou optiques nouvelles, intéressantes tant sur le plan fondamental que sur le plan appliqué. JANNuS contribue ainsi au développement de nouveaux composants en microélectronique, en optoélectronique, et pour les technologies nanométriques.

→ **pour le nucléaire**, JANNuS permet d'étudier le comportement et la tenue sous irradiation des matériaux utilisés dans les réacteurs nucléaires, en reproduisant expérimentalement l'endommagement de la matière sous l'effet d'un bombardement neutronique. Dans un réacteur nucléaire, les

matériaux utilisés sont fortement sollicités ; l'irradiation neutronique modifie leur architecture atomique et peut faire évoluer leur structure et leur composition chimique. Cela influe sur le comportement mécanique, la conduction thermique, la résistance à la corrosion... des matériaux, et donc sur leur tenue dans le temps. JANNuS présente un double avantage pour étudier ces phénomènes : les différents faisceaux d'ions utilisés reproduisent le bombardement des neutrons sans rendre radioactifs les échantillons étudiés ; ces faisceaux reproduisent en un temps très court, de l'ordre d'un jour, le dommage subi pendant plusieurs années en réacteur.

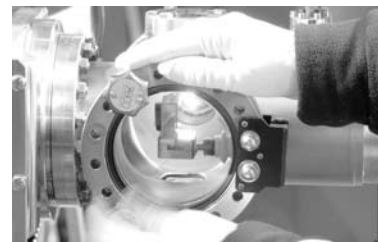
→ **pour la simulation**, l'instrumentation de la plate-forme permet aux chercheurs de simuler expérimentalement le comportement d'un matériau sous irradiation neutronique. Pour les matériaux du nucléaire, les résultats acquis sur JANNuS sont analysés en fonction des conditions d'irradiation, en couplage étroit avec la simulation numérique et les développements théoriques. Une fois le lien entre conditions d'irradiation et évolution microstructurale établi, la transposition à l'irradiation neutronique, dont les effets ne peuvent être mesurés que par des expériences plus lourdes menées en réacteur, devient possible et la prédiction du comportement des matériaux à très

long terme en est améliorée via le lien microstructure/comportement.

### Un outil de recherche et d'enseignement ouvert à la communauté scientifique internationale et à l'Industrie

Décidé en 2004, le projet JANNuS est en phase de fonctionnement normal depuis cette année 2011, après l'installation des derniers équipements en 2009 et une première phase de mise en exploitation dès 2009.

Les recherches menées sur la plateforme JANNuS, à Orsay et à Saclay, sont pilotées par un Groupement d'intérêt scientifique commun (GIS) réunissant le CEA, le CNRS et l'Université Paris-Sud. Cette structure assure la coordination du programme scientifique et la répartition sur les deux installations des demandes -nombreuses- d'utilisation des faisceaux par la communauté scientifique internationale et les industriels. On peut citer l'utilisation soutenue par les grands laboratoires américains tels que Lawrence Livermore, Los Alamos et Oak Ridge ou européens (Oxford, Paul Scherrer Institute,..). La plateforme JANNuS constitue également un outil pédagogique pour former de jeunes scientifiques au fonctionnement et à l'application des accélérateurs, à la physique des interactions ions/matière et à la science des matériaux. L'Institut



Chambre d'expérience de l'accélérateur électrostatique d'ions Yvette  
(© P. Stroppa CEA)

national des sciences et techniques nucléaires (CEA-INSTN) assure cette mission d'enseignement.

Le coût global de la plateforme JANNuS s'élève à environ 10 millions d'euros, financés par la Région Ile-de-France (1,2 M€), le Département de l'Essonne (150 000 €), le CEA (4,5 M€), le CNRS (800 000 € + le financement des accélérateurs préexistants (4 M€)) et l'université Paris-Sud (280 000 €).

#### Contacts :

Lucile Beck (DEN/DMN/Jannus) et Gabriel Chardin (CSNSM)

S. DENIS

## Secoueurs

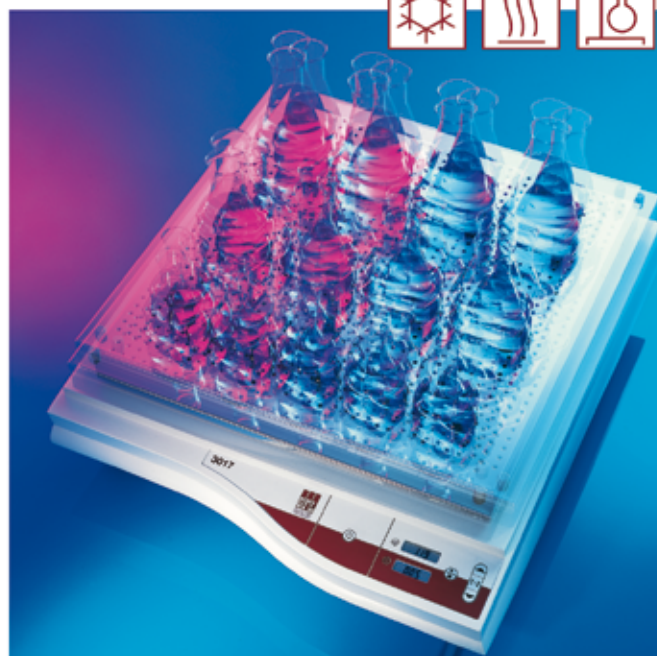
### Polyvalence à toute épreuve!

Les agitateurs secoueurs GFL sont proposés en quinze versions et 5 différents types de mouvement. Leur mécanique compacte et d'usure minimale garantit un travail en toute tranquillité et une grande fiabilité en fonctionnement continu.

Les modèles à régulation digitale (par microprocesseurs de dernière génération) sont équipés d'une interface électronique pour un pilotage PC confortable des données de mesure, de commande ou de régulation.

Les secoueurs GFL se remarquent par leur polyvalence. Les plateaux d'agitation ont été conçus pour accepter et fixer sans problème pratiquement toutes les formes de récipients de laboratoire avec leurs multiples accessoires.

Tous les appareils portent le label CE ainsi que les plaquettes TÜV de « Sécurité contrôlée ».



- Congélateurs
- Bains-Marie
- Agitateurs bain-marie
- Incubateurs
- Appareils à eau distillée