



énergie atomique • énergies alternatives



## DOSSIER DE PRESSE



# JANNUS

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

**Juin 2011**



## INAUGURATION DE LA PLATEFORME JANNuS 27 juin 2011

Valérie Pécresse, 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, inaugurent le 27 juin 2011 **la plateforme JANNuS (Jumelage d'Accélérateurs pour les Nanosciences, le Nucléaire et la Simulation).**

La plateforme JANNuS permet d'irradier des matériaux par des flux de particules chargées. Ses principales applications sont dans le domaine des nanosciences et pour le développement de matériaux pour le nucléaire.

Elle réunit des chercheurs autour d'équipements de pointe répartis sur deux ensembles expérimentaux :

- l'un à **Orsay** au Centre de spectrométrie nucléaire et de spectrométrie de masse, unité mixte de recherche **CNRS et Université Paris-Sud** ;
- l'autre sur le centre **CEA de Saclay** au Département des matériaux pour le nucléaire.

La plateforme JANNuS est aussi 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.

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.

La plateforme JANNuS permet au CEA, au CNRS et à l'Université Paris-Sud de disposer aujourd'hui d'un équipement sans équivalent en Europe. Il rassemble une vingtaine de chercheurs permanents et est ouvert à la communauté scientifique internationale, ainsi qu'aux industriels.

## JANNUS EN QUELQUES MOTS :

### **JUMELAGE D'ACCÉLÉRATEURS :**

**Le couplage de différents accélérateurs permet de « co-irradier » par 2, voire 3 faisceaux différents, un même matériau. De plus, à Orsay, un microscope électronique permet d'observer en temps réel les modifications induites par les irradiations. Ces caractéristiques font de JANNUS une plateforme unique en Europe.**

La concentration de plusieurs faisceaux d'ions sur une même cible expérimentale permet de simuler différents types d'endommagement, en un temps très court. L'évolution de la structure de la matière, de sa composition chimique, et de ses propriétés physiques peut ainsi être étudiée en fonction des conditions d'irradiation.

### **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.

### **ET POUR LA SIMULATION :**

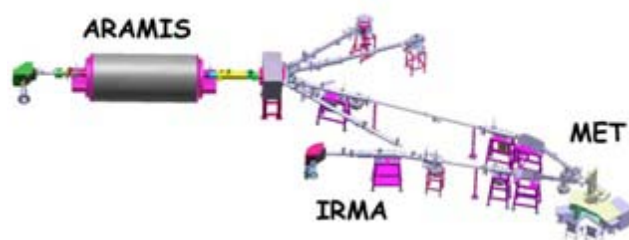
**L'instrumentation de la plateforme permet aux chercheurs de simuler expérimentalement le comportement d'un matériau sous irradiation neutronique.**

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.

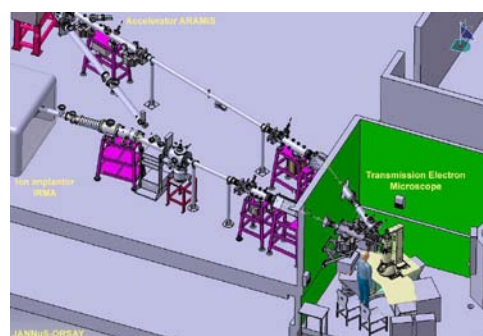
## LES EQUIPEMENTS DE LA PLATEFORME JANNuS À ORSAY

### JANNuS — Orsay : un microscope électronique en transmission couplé à deux accélérateurs

La plateforme expérimentale JANNuS – Orsay est composée d'un microscope électronique en transmission (MET) couplé à deux accélérateurs d'ions : ARAMIS (tandem 2 Mégavolts –MV–) et IRMA (implanteur d'ions 190 kV), réalisés par le CNRS.



©Sémiramis/CNSM/CNRS/Université Paris-Sud



©Sémiramis/CNSM/CNRS/Université Paris-Sud

Sa caractéristique principale est 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* les interactions d'un ou deux faisceaux d'ions et du faisceau d'électrons avec la matière.

#### Études *in-situ* des effets de synergie :

##### contrôle de la nucléation et de la croissance de nanoparticules - 22 Juin 2009

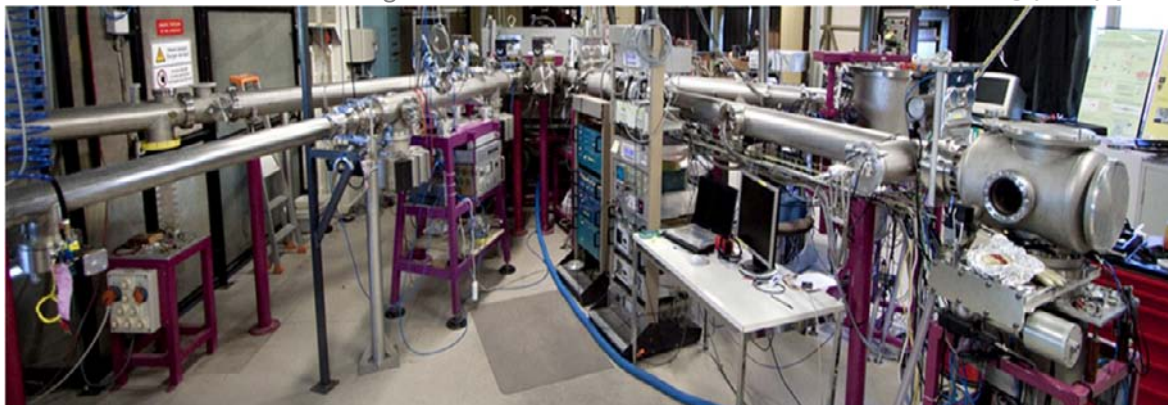
Les expériences en double faisceau *in-situ* dans le MET réalisées lors de la première campagne à JANNuS – Orsay ont permis de contrôler la taille et la densité de nanoparticules de disiliciure de cobalt dans du silicium. Les siliciures métalliques sont utilisés dans diverses applications en micro-électronique. En procédant à une implantation de cobalt et à une irradiation de silicium simultanées, la nucléation et la croissance des nanoparticules ont été totalement modifiées par rapport à ce qui est observé lors d'une implantation et d'une irradiation séquentielles. Ces résultats montrent l'intérêt d'étudier les effets de synergie, et le potentiel d'applications qui en découle.

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, et ainsi 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, 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...

- L'accélérateur ARAMIS et ses lignes de faisceaux

© J-F. Dars



- Lignes de faisceaux d'IRMA et ARAMIS...  
depuis les accélérateurs...

© J-F. Dars



jusqu'au microscope électronique MET

© J-F. Dars

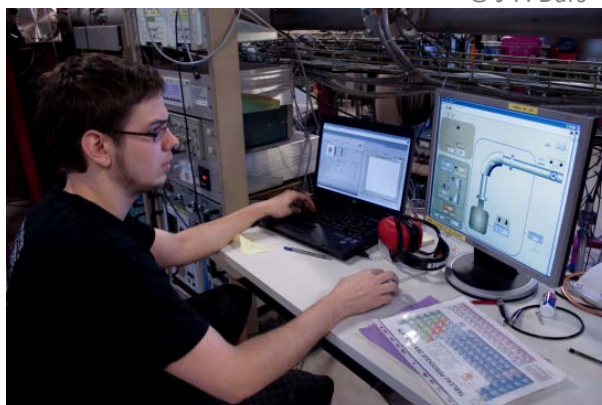


- ARAMIS : Source négative type Middleton  
© Sémiramis/CSNSM/CNRS/Université Paris-Sud



- ARAMIS : Pupitre de commande

© J-F. Dars



## LES EQUIPEMENTS DE LA PLATEFORME JANNUS À SACLAY

### JANNUS – 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 (méga électronvolt) ;

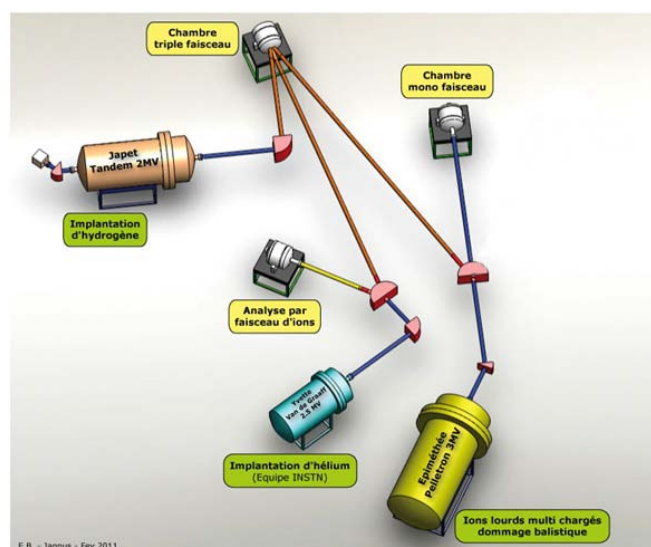
- modification de sa composition chimique par l'introduction d'hélium et d'hydrogène, consécutive aux réactions nucléaires induites par les neutrons.

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.

Grâce aux trois faisceaux d'ions, **JANNUS-Saclay est la deuxième installation au monde capable de reproduire simultanément l'ensemble de ces effets physiques et chimiques, 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). Comme les échantillons ne sont pas radioactifs, ils peuvent ensuite être caractérisés dans des équipements standards.

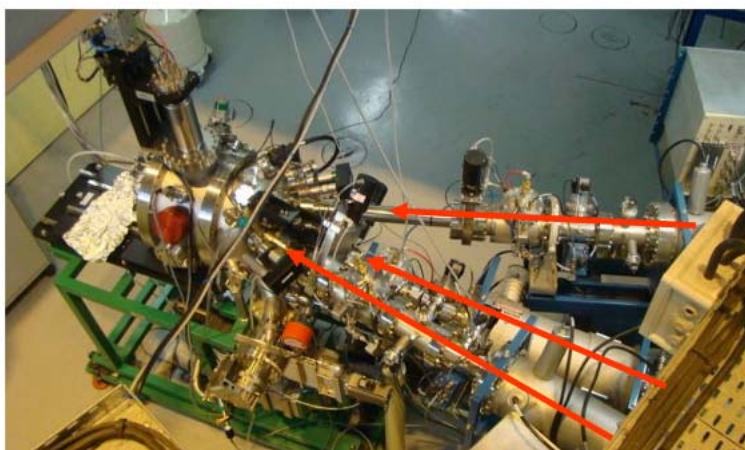
Ainsi convergent autour d'une chambre d'expériences commune les faisceaux de :

- Épipiméthée, Pelletron™ simple étage de 3 MV à source d'ions multichargés, fonctionnant à partir de gaz ou de composés organométalliques volatils ;
- Japet, Pelletron™ 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-échantillons 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 Épipiméthée et d'une chambre instrumentée d'analyse par faisceaux d'ions liée à l'accélérateur Yvette. Avec un domaine d'énergie des ions produits qui s'étend de 100 keV à 50 MeV

et la possibilité de coupler jusqu'à trois faisceaux d'ions, JANNUS – Saclay est la deuxième installation au monde capable de simuler expérimentalement l'ensemble des effets physiques et chimiques induits lors de l'irradiation d'un matériau nucléaire par des neutrons (déplacements d'atomes résultant de l'accumulation des dommages balistiques et production de nouvelles espèces comme l'hélium ou l'hydrogène). Ces effets sont étudiés simultanément ou de manière dissociée dans des métaux, des alliages, des verres, des céramiques ou des matériaux composites.



Vue du triple faisceau aligné sur la cible d'expérimentation. © CEA

#### **La 1<sup>ère</sup> irradiation triple faisceau en mars 2010**

Lors de cette première irradiation, 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.

Les outils de modélisation et de simulation qui sont développés au CEA permettent de recalibrer les résultats obtenus au cours de ces expériences de vieillissement accéléré aux conditions d'irradiation en réacteur. Ces modèles sont eux-mêmes enrichis par les données issues des expériences sur JANNUS.

- La source ECR d'ions fortement chargés pour l'accélérateur Epiméthée.

© A.Gonin/CEA



- La chambre d'expérience de l'accélérateur Yvette.

© P.Stroppa/CEA



- L'accélérateur Tandem 2 MV Japet.

© P.Stroppa/CEA



- La salle de commande des 3 accélérateurs d'ions, à Saclay.

©P.Stroppa/CEA





## ORGANISATION DE LA PLATEFORME JANNUS

Les recherches menées sur la plateforme JANNUS, à Orsay et à Saclay, sont pilotées par un **Groupe 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 l'ensemble des deux installations des activités des groupes provenant des laboratoires partenaires et extérieurs.

L'Institut national des sciences et techniques nucléaires (CEA-INSTN) assure la mission d'enseignement sur la plateforme.

Les demandes – nombreuses – d'utilisation des faisceaux par la communauté scientifique internationale sont gérées par un conseil scientifique. Des liens sont ainsi tissés avec les plus grands laboratoires internationaux de la discipline, ainsi qu'avec les industriels intéressés.

### Quelques dates :

- 2004 : Démarrage du projet de plateforme JANNUS ;  
L'accélérateur ARAMIS et l'implanteur IRMA existaient déjà à Orsay, mais ont été rénovés pour ce projet. À Saclay, l'accélérateur Yvette existait également avant le projet JANNUS.
- 2007 : Installation du MET et couplage avec un 1<sup>er</sup> faisceau d'ions à Orsay ;  
Installation de l'accélérateur Epiméthée à Saclay ;
- 2008 : Couplage avec le 2<sup>nd</sup> faisceau d'ions à Orsay ;  
Installation d'Yvette à Saclay et exploitation en double faisceau ;
- 2009 : Livraison de l'accélérateur Japet à Saclay ;  
Premiers utilisateurs en double faisceau sur la plateforme d'Orsay ;
- 2010 : 1<sup>er</sup> triple faisceau en mars 2010 (Saclay) ;
- 2011 : L'ensemble de la plateforme arrive en phase d'exploitation « normale ».

### Effectifs :

En juin 2011, la plateforme compte 7 chercheurs permanents à Orsay et 9 à Saclay.

### Financement :

Le coût global de la plateforme JANNUS s'élève à environ 10 millions d'euros :

- JANNUS-Orsay : 1,8 M€ (les accélérateurs préexistants avaient coûté de l'ordre de 4 M€) ;
- JANNUS-Saclay : 5 M€.

Le financement a été assuré comme suit :

- CEA : 4,5 M€ ;
- CNRS : 800 000 € + le financement des accélérateurs préexistants (4 M€) ;
- Université Paris-Sud : 280 000 € ;
- Région Ile-de-France : 1,2 M€ ;
- Département de l'Essonne : 150 000 €.