



■ A I F I R A

Une plate-forme
de
faisceaux d'ions
à vocation
interdisciplinaire ■





>> Description technique AIFIRA

• Un accélérateur de dernière génération :

La plate-forme AIFIRA (Applications Interdisciplinaires de Faisceaux d'Ions en Région Aquitaine) s'articule autour d'un accélérateur électrostatique de particules de dernière génération d'une tension de 3,5 millions de volts construit par la société néerlandaise High Voltage Engineering Europe.

Cette machine délivre des faisceaux continus d'ions légers hydrogène, deutérium et hélium avec des performances de tout premier plan en termes de brillance et de stabilité en énergie permettant notamment l'obtention de faisceaux focalisés jusqu'à des dimensions submicrométriques c'est-à-dire inférieures au milliardième de mètre.



>> • Cinq lignes de faisceaux innovantes aux spécificités très diverses :

- Une ligne "nanofaisceau" pour l'imagerie, la caractérisation et l'irradiation locale à haute résolution spatiale, de 50 à 300 nanomètres (milliardièmes de mètre) selon l'intensité du faisceau délivré.
- Une ligne "microfaisceau" permettant de délivrer un faisceau micrométrique ion par ion pour une irradiation à dose parfaitement contrôlée de lignées cellulaires en culture.
- Une ligne générant des neutrons rapides monoénergétiques par interaction de protons ou de deutons avec des cibles légères de deutérium, tritium ou lithium. Ces faisceaux de neutrons sont utilisés dans le cadre d'études liées aux cycles électronucléaires.
- Une ligne de faisceau extrait à l'air pour l'analyse d'objets fragiles et/ou encombrants.
- Une ligne d'analyse et caractérisation automatisée en macrofaisceau utilisée entre autres dans le cadre de prestations pour des entreprises régionales ou nationales.



• Un bâtiment aux fonctionnalités adaptées :

La plate-forme est implantée dans un nouveau bâtiment dont les fonctionnalités ont été particulièrement étudiées pour la mise en œuvre de nanofaisceaux d'ions et pour la génération de rayonnements ionisants de haute intensité :

- Structure antivibratoire dont une dalle de 200 tonnes ancrée à 18 mètres de profondeur sur des pieux et totalement isolée du reste du bâtiment.
- Contrôle très poussé de la stabilité en température et du degré d'hygrométrie.
- Protections radiologiques, contrôles et commandes déportés, permettant la génération de faisceaux de neutrons à haut flux ainsi que l'utilisation de faisceaux de deutons pour des études de caractérisation.



>> Biologie et environnement

L'analyse chimique élémentaire par faisceaux et microfaisceaux d'ions dans le milieu vivant est exploitée de longue date par les équipes de recherche qui travaillent sur la plate-forme AIFIRA. Les analyses de métaux trace, d'éléments lourds toxiques ou d'éléments trace essentiels à la vie, se déclinent à différentes échelles, du tissu à la cellule, grâce aux techniques les plus abouties de l'instrumentation nucléaire.

Les méthodes sont basées sur l'interaction ion-matière, que ce soit au niveau atomique ou nucléaire, et sur la détection des multiples produits de réaction, photons ou ions, permettant ainsi une analyse quantitative, multiélémentaire et non destructive de l'échantillon étudié.

Les performances en matière d'imagerie et de cartographie chimique bénéficient de la très haute résolution spatiale de la nanosonde. Cet outil unique ouvre des perspectives ambitieuses pour l'étude de mécanismes cellulaires fondamentaux via l'analyse et l'imagerie subcellulaire.

>> En particulier, une méthode de tomographie de cellules individuelles peut être mise en œuvre pour des études de pénétration de micro et nanoparticules toxiques ou des études pharmacologiques sur des microagrégats cellulaires.

En matière d'exposition environnementale, les thèmes de recherche se situent dans les domaines suivants :

- les métaux et leur impact sur les écosystèmes
- la bio accumulation et la cancérogénèse des métaux
- l'exposition aux nanoparticules utilisées de plus en plus massivement dans la vie courante
- le contrôle et l'impact de la pollution urbaine via l'analyse des poussières atmosphériques



L'exposition aux rayonnements ionisants à faible dose est un sujet d'étude plus particulièrement développé grâce à une ligne microfaisceau permettant une irradiation sélective de compartiments cellulaires sous un contrôle rigoureux de dose, le faisceau étant délivré ion par ion.

Il s'agit là d'une première en France, une demi-douzaine seulement d'autres instruments de ce type ayant été développés dans le monde. En dehors de l'évaluation du risque, dans le cadre environnemental ou professionnel, des aspects plus fondamentaux sont étudiés tels que les mécanismes de dommage et de réponse cellulaire (réparation, voies de signalisation...).

Toutes ces études se développent dans le cadre de programmes français et européens.





>> Énergie nucléaire du futur

L'augmentation de l'effet de serre dû aux énergies fossiles, l'épuisement à long terme des ressources et l'accroissement de la demande en énergie des pays émergents, laissent envisager une reprise de l'énergie nucléaire de fission à plus ou moins long terme.

Cependant, la poursuite du développement de cette énergie nécessite de garantir une sûreté maximale des réacteurs, d'aborder la question des ressources (les réserves d'uranium étant elles aussi limitées) tout en empêchant la prolifération et surtout de trouver une solution acceptable par la société, pour la gestion des déchets nucléaires à vie longue.



Grâce aux faisceaux de neutrons rapides monoénergétiques (0.1-7 MeV) fournis par AIFIRA, des études très en amont concernant l'incinération et la transmutation des déchets ainsi que la recherche de nouveaux combustibles pour un nucléaire durable sont menées dans le cadre de collaborations nationales et internationales. ■ ■ ■

>> Nouveaux matériaux et microélectronique

Les faisceaux d'AIFIRA permettent d'utiliser une vaste gamme de techniques parfaitement adaptées à l'analyse et à la caractérisation pour la microélectronique et les matériaux pour le vivant.

Les informations concernant les matériaux étudiés vont de leur teneur en impuretés et éléments trace à leur composition structurale, les résolutions en profondeur étant de quelques dizaines de nanomètres et les résolutions spatiales allant de 50 nanomètres à quelques millimètres. Les matrices étudiées peuvent être de type amorphe ou de type cristallin, sous forme épaisse ou en couches minces, de composition organique, minérale ou métallique.

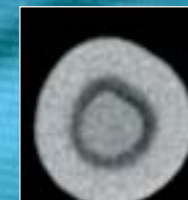
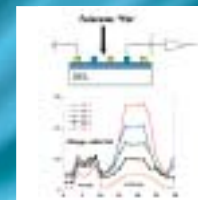
Pour l'élaboration de nouveaux matériaux, les méthodes de caractérisation par faisceaux d'ions sont non-destructives et possèdent des potentialités uniques pour lesquelles il n'existe parfois aucune alternative : sensibilité à la topographie et à l'analyse en volume, mesure des éléments légers, allant de l'hydrogène au fluor dans des matrices lourdes grâce aux réactions

>> nucléaires, dosage d'hydrogène dans des matrices solides, mesure non destructrice de densité par tomographie à l'échelle sub-micrométrique, localisation de défauts cristallographiques par microcanalisation.

Dans le domaine de la microélectronique, la course à l'intégration des composants requiert des procédés à très haute résolution spatiale. Les nanofaisceaux d'AIFIRA permettent par exemple des études de validation et de fiabilité des composants et circuits hautement intégrés grâce à des techniques de pointe comme l'induction locale de charges à l'échelle de quelques dizaines de nanomètres ou encore la génération d'aléas logiques dans les microcircuits.

>> Les thèmes étudiés par les équipes utilisatrices des faisceaux de la plateforme sont :

- Couches minces et interfaces : composants luminescents épitaxiés sur semi-conducteurs, matériaux pour micro-générateurs solides en couches minces, matériaux pour la construction de lasers, super-réseaux épitaxiés sur silicium.
- Dosage d'éléments légers et analyse de composition structurale dans des matériaux ultra durs et cristaux en couches minces, matériaux pour l'optique non linéaire, matériaux céramiques.
- Aide à l'élaboration de capteurs d'ultra-violets.
- Fiabilité de microcomposants et tenue aux radiations des composants pour l'électronique embarquée.
- Caractérisation de nouveaux matériaux implantables, comme les prothèses.



>> Patrimoine culturel

Dans le cadre général de la préservation de l'héritage culturel, les analyses par faisceaux d'ions constituent des outils de choix pour l'étude des archéomatériaux. Ces méthodes non destructives et multiélémentaires apportent en effet un complément essentiel dans l'étude des techniques de fabrication, des processus de vieillissement, de la provenance et de la datation de matériaux culturels et archéologiques.

A titre d'exemple, la signature chimique des artefacts lithiques issus de gisements archéologiques fournit des informations pertinentes sur l'origine de leur matière première et sur la chaîne opératoire, qui à partir du prélèvement sur un gisement naturel, a mené à l'objet final collecté. Ce sont alors l'organisation, l'économie et les voies de communication de sociétés anciennes qui peuvent être ainsi décryptées.



>>>

Cette démarche expérimentale est menée en particulier sur l'obsidienne par les équipes de l'Institut de Recherche sur les Archéomatériaux (CNRS/Université Bordeaux 3). L'obsidienne est en effet un marqueur privilégié des déplacements de l'homme préhistorique et de ses systèmes d'échanges autour du bassin méditerranéen au Néolithique. Une ligne de faisceau entièrement dédiée à cette thématique a été développée sur la plateforme AIFIRA afin de permettre l'extraction à l'air du faisceau d'ions, pour analyser des objets de grandes dimensions et/ou supportant difficilement le passage sous un vide poussé.

Les potentialités en matière de nanotechnologies

∨
∨

D'énormes potentialités en matière de modification locale de matériaux existent grâce aux faisceaux de haute résolution spatiale. Les caractéristiques de l'interaction ion-matière, notamment une extrême rigidité de trajectoire, permettent la microlithographie sans utilisation de masques.

Des micro et nanostructures tridimensionnelles peuvent être ainsi créées dans des polymères ou du silicium pour la réalisation de prototypes ou l'élaboration rapide de masques pour l'électrodéposition métallique.

Les domaines touchés vont de la communication avec la génération de microfibres optiques, à la microfluidique et ses nombreuses applications dans les domaines de la biologie, la chimie analytique, le génie des procédés ou les transports.

Les nanofaisceaux d'ions sont également bien adaptés à l'utilisation de matériaux comme certains polymères pour notamment simplifier les techniques de fabrication des microcanaux dans le cadre d'une intégration de plus en plus poussée.

>> Transfert de technologie et valorisation industrielle

Autour de cette plate-forme se développent des relations étroites avec le monde industriel, non seulement sous forme de partenariats initiés par certains groupes de recherche mais surtout via une cellule de transfert ARCANE (Atelier Régional de Caractérisation par Analyse Nucléaire Élémentaire) qui effectue des prestations de service en analyse et caractérisation pour des PME-PMI ainsi que de grandes entreprises régionales ou nationales. Les secteurs d'activité ciblés relèvent de l'analyse de couches minces pour l'optique, l'optoélectronique ou la mécanique, de l'analyse de défaillances de circuits intégrés, de l'étude de nouveaux matériaux et enfin de l'analyse de poussières atmosphériques dans le cadre des réseaux nationaux de surveillance de pollution urbaine. Des partenariats dans les domaines dermo-cosmétique et pharmaceutique ont été également initiés.



Les potentialités en matière de valorisation industrielle, liées aux techniques d'analyse structurale à haute résolution spatiale développées sur la plate-forme, ne font aucun doute.

Elles donnent accès à des éléments de dimension clé tels que la gravure d'un circuit intégré ou un organite en biologie cellulaire. Elles ouvrent un vaste champ de transfert industriel allant de la caractérisation de matériaux à leur modification sous faisceau dans le cadre innovant des nanotechnologies.



>> Formation



En matière de formation, AIFIRA constitue un support technique très efficace pour l'enseignement.

Les techniques de pointe mises en œuvre permettent aussi bien d'illustrer des aspects fondamentaux liés à l'interaction ion-matière que des applications dans le cadre des axes de recherches présentés dans cette plaquette.

Cette formation passe par des stages et des travaux expérimentaux pour les étudiants des niveaux licence et master. Compte-tenu des collaborations déjà en place avec diverses universités européennes, une formation de type Erasmus Mundus devrait voir le jour très prochainement.



Chemin du Solarium • Le Haut-Vigneau
B.P. 120 • 33175 GRADIGNAN
Tél. 05 57 12 08 04 • Fax : 05 57 12 08 01
<http://www.cenbg.in2p3.fr>