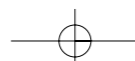


Des **neutrons** pour explorer la **matière**

ORPHÉE,
réacteur de recherche
à Saclay

cea



ORPHÉE

RÉACTEUR DE RECHERCHE À SACLAY

ORPHÉE :

- des neutrons au service de la science et de l'industrie
- la neutronographie ou radiographie neutronique
- le dopage du silicium
- la fabrication de radioéléments pour la médecine
- la mesure de traces par activation neutronique
- la détermination des textures et contraintes

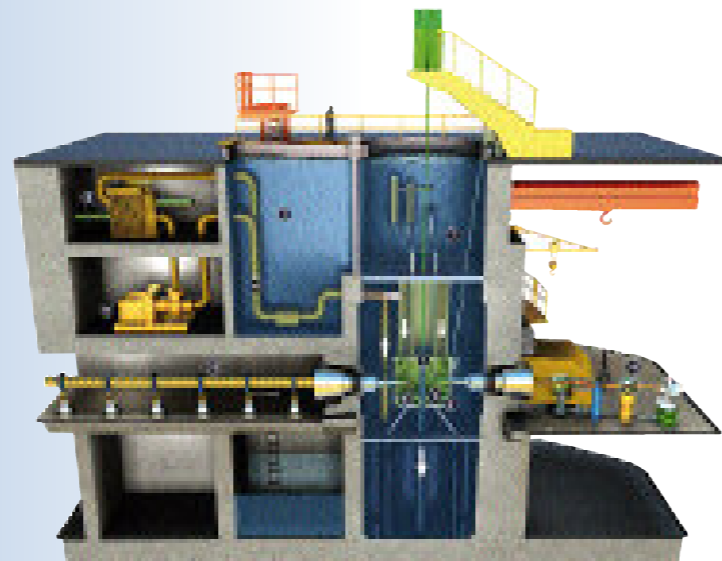
ORPHÉE/LLB :

- un moyen intégré pour l'investigation de la matière par les neutrons

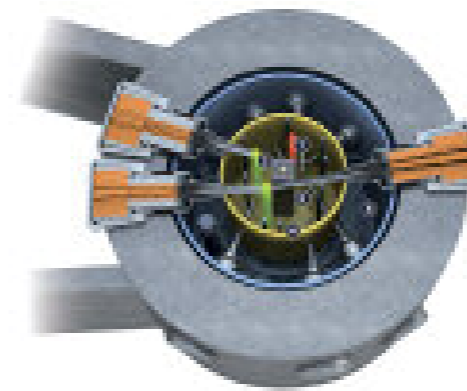
LE LLB MET À LA DISPOSITION DE LA COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE FRANÇAISE ET INTERNATIONALE LES INSTRUMENTS QU'IL CONSTRUIT AUTOUR D'ORPHÉE ET DÉVELOPPE SES PROPRES PROGRAMMES DE RECHERCHE SUR :

- les transitions de phases et la dynamique des solides
- le magnétisme
- la physico-chimie ou l'étude de la matière molle
- la biologie

ORPHÉE est un réacteur de recherche dont la vocation première est de fournir des faisceaux de neutrons pour les besoins de la recherche fondamentale sur la matière condensée. C'est un outil complémentaire de son voisin le synchrotron SOLEIL. Le réacteur a divergé pour la première fois le 19 décembre 1980. Il accueille tous les ans de l'ordre de 500 visiteurs scientifiques français et étrangers. ORPHÉE est un réacteur de type « piscine ». D'une puissance thermique de 14 MWth, il génère un flux de neutrons thermiques de 3×10^{14} neutrons par cm^2 et par seconde.



L'aménagement du bloc-pile permet la sortie de 9 canaux horizontaux (associés à 20 faisceaux de neutrons) et 9 canaux verticaux (canaux pneumatiques pour l'analyse par activation, ou, puits d'irradiation en piscine). Le cœur du réacteur, très compact et refroidi à l'eau légère, est placé au centre d'une cuve d'eau lourde. Celle-ci, jouant à la fois le rôle de réflecteur et de thermaliseur est une zone d'accumulation des neutrons thermiques, d'énergie d'environ 25 meV. Le cœur et la cuve d'eau lourde sont immergés dans une piscine remplie d'eau légère déminéralisée, qui assure la protection contre les rayonnements tout en permettant une manutention simple. Le réacteur est doté de modérateurs locaux : deux sources froides et une source chaude permettant de fournir des neutrons de plus faible et plus grande énergie. Au total, les chercheurs disposent de 8 faisceaux de neutrons thermiques,



8 faisceaux de neutrons froids et 4 faisceaux de neutrons chauds. 26 postes d'expérimentation sont répartis autour de la source, soit directement autour de la piscine réacteur, soit à distance grâce au transport des neutrons par des guides de neutrons.

LA SÛRETÉ DU RÉACTEUR

Le réacteur a été conçu en application du principe de la défense en profondeur visant à garantir en permanence la maîtrise des fonctions essentielles de sûreté : maîtrise de la réactivité, évacuation de la puissance résiduelle et confinement des matières radioactives.

Les dispositions de conception intègrent les éléments suivants :

- surveillance permanente du réacteur par un système de protection à 3 voies complètement indépendantes, déclenchant en 2 voies sur 3 l'arrêt d'urgence du réacteur (chute rapide des barres par gravité) ;
- après un arrêt du réacteur, capacité à évacuer la puissance résiduelle du cœur de façon purement passive, par convection naturelle entre le cœur et la piscine du réacteur ;

Neutrons produits par ORPHÉE	Énergie	Vitesse	Longueur d'onde (Å)	Température d'équilibre
Neutrons issus des fissions dans le cœur	2 MeV	20 000 km/s	2×10^{-4}	Hors équilibre thermique
Neutrons thermiques	0,025 eV	2 200 m/s	1,8	300 K
Neutrons froids (sources froides)	0,002 eV	600 m/s	6,8	20 K
Neutrons chauds (source chaude)	0,120 eV	4 800 m/s	0,8	1 400 K

– regroupement du cœur et des circuits principaux à l'intérieur de l'enceinte de confinement du réacteur en béton armé, elle-même entourée en partie basse d'un caisson de collecte des fuites qui pourraient se produire aux traversées de l'enceinte.

Trois barrières étanches, résistantes et indépendantes sont interposées entre les produits dangereux et l'environnement : la gaine du combustible du réacteur ; l'enveloppe du circuit de refroidissement et la piscine du réacteur ; l'enceinte de confinement en béton autour du réacteur. En fonctionnement normal, l'enceinte est maintenue en dépression par rapport à l'extérieur. L'enceinte a par ailleurs été dimensionnée pour résister aux différents accidents pouvant survenir sur le réacteur.

La surveillance de l'impact de l'installation sur l'environnement est intégrée dans le dispositif en vigueur pour le centre de Saclay.



LABORATOIRE LÉON BRILLOUIN



LA SPECTROMÉTRIE NEUTRONIQUE

Les techniques de la spectrométrie neutronique utilisées sur le réacteur ORPHÉE ont été découvertes à la fin des années 1930 et se sont développées depuis lors. Utilisée à l'origine pour étudier la matière condensée et les structures magnétiques, ses applications se sont considérablement diversifiées.

Les neutrons sont un puissant outil d'investigation de la matière.

- Ils interagissent directement avec le noyau de l'atome : ne portant pas de charge, ils possèdent un grand pouvoir de pénétration. Ils voient les atomes légers comme l'hydrogène, et l'utilisation de la substitution isotopique permet des mesures dites « différentielles ».

- Leur masse permet de satisfaire simultanément à deux exigences :

- avoir une longueur d'onde comparable aux distances inter-atomique ;
- avoir une énergie cinétique du même ordre de grandeur que les énergies des mouvements atomiques dans les solides ou les liquides ;

Ils possèdent un moment magnétique utilisé pour déterminer les structures magnétiques.

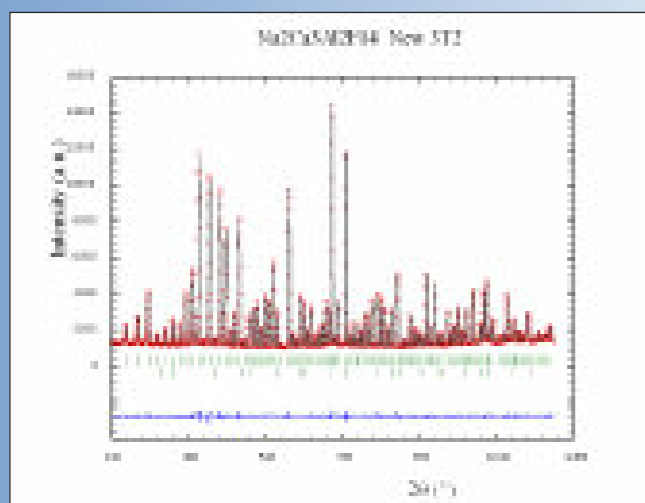
Une expérience de diffusion neutronique permet de révéler l'organisation et la dynamique des atomes d'un échantillon de matière condensée. Plusieurs types de mesures sont envisageables : diffusion élastique des neutrons, diffusion inélastique des neutrons, diffusion de neutrons polarisés, diffusion aux petits angles.

La diffusion de neutrons thermiques offre de multiples applications :

- études structurales de solides cristallins et de liquides ;
- étude des structures atomiques et magnétiques ;
- étude de la dynamique des atomes ;
- analyse des phonons, des mouvements moléculaires et des transitions de phase ;
- étude du magnétisme et de la supraconductivité ;
- études de la texture et des contraintes des matériaux ;
- études de la structure locale des systèmes désordonnés ;
- études biologiques (conformation et dynamique des grosses molécules et de leur assemblage) et physico-chimiques (étude des polymères, des microémulsions, des gels, des cristaux liquides...).

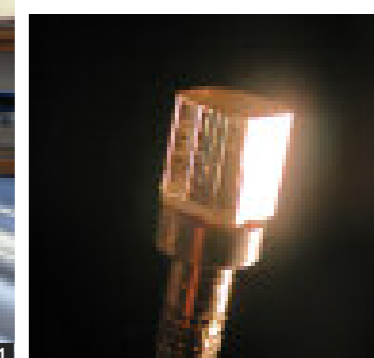
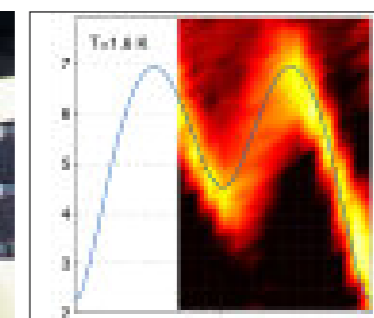
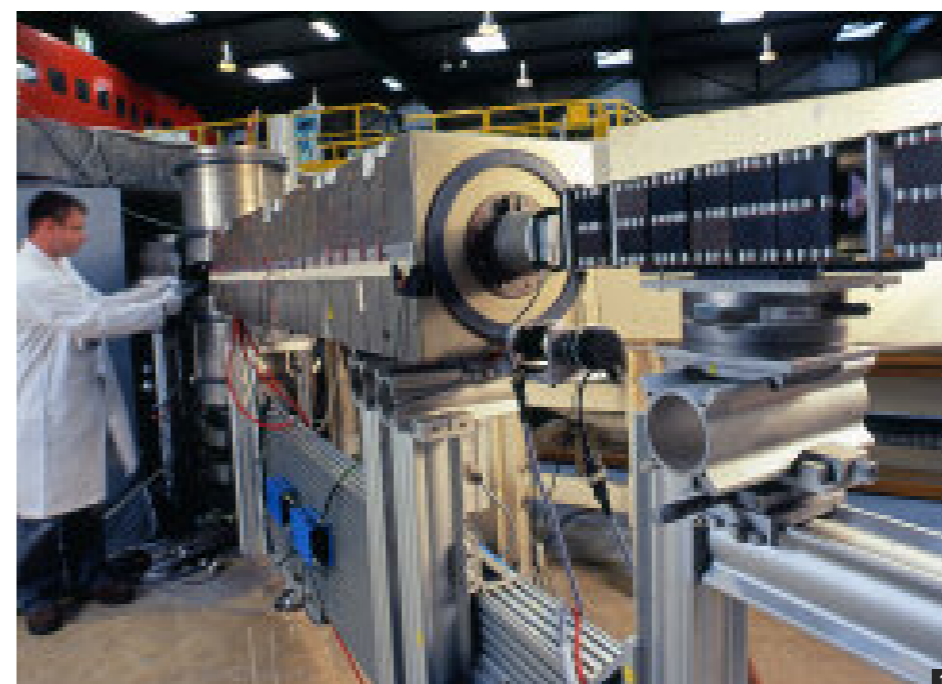
LE DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

En 2007, le parc instrumental du LLB sur le réacteur ORPHÉE comprend plus de vingt spectromètres. Ils sont regroupés en grandes familles :



Détermination d'une structure cristalline par diffraction de poudre.

Mesure souhaitée	Technique utilisée	Spectromètres disponibles
Étude de la structure atomique d'un échantillon de poudre	Spectromètres de diffraction de poudres (2 axes)	3T2, G4.1, G6.1
Étude de la texture et des contraintes des matériaux	Spectromètres de type poudres (2 axes) et monocristaux (4 cercles)	6T1, G5.2
Étude de l'organisation des atomes dans les liquides et amorphes	Spectromètres de type poudres (2 axes)	7C2
Étude de la structure atomique d'un échantillon monocristallin	Spectromètres de diffraction sur monocristaux (4 cercles)	5C1, 5C2, 6T2
Étude de la conformation des grosses molécules et de leur assemblage	Spectromètres de diffusion aux petits angles	Paxy, Paxe, Pace, Papyrus, TPA
Étude de la dynamique des atomes d'un échantillon monocristallin	Spectromètres de diffusion inélastique (3 axes)	1T, 2T, 4F1, 4F2, G4.3
Étude de la dynamique des molécules	Spectromètres de diffusion quasi élastique (Temps de vol, Écho de spin)	Mibémol, Muses
Étude du magnétisme des atomes	Tous les types de spectromètres	



1. Mise en place d'un échantillon sur un appareil à écho de spin destiné à mesurer les mouvements lents des molécules.

2. Calcul (courbe bleue) et mesure d'une vibration atomique dans $KCuCl_3$.

3. Un monocristal sur son support, prêt à être mesuré sur un des 4 cercles du laboratoire.

ORPHÉE AU SERVICE DE L'INDUSTRIE



Nos yeux, les rayons X et les neutrons offrent une vision différente du même objet.

NEUTRONOGRAPHIE

La neutronographie (ou radiographie aux neutrons) est une méthode de contrôle non destructif. Comme la radiographie aux rayons X, c'est une méthode d'examen par transparence. La neutronographie utilise le fait que certains éléments légers diffusent très bien les neutrons et certains éléments lourds les absorbent très peu. On peut ainsi visualiser des atomes légers à l'intérieur d'un container métallique. La neutronographie à ORPHÉE est pratiquée comme contrôle de recette final sur des composants pyrotechniques (poudres et explosifs contenant des molécules hydrogénées) utilisés par l'industrie aéronautique ou spatiale, notamment pour les lanceurs européens Ariane.



ANALYSE DE TRACES PAR ACTIVATION

4 canaux pneumatiques relient le réacteur ORPHÉE au laboratoire Pierre SÛE. Ils permettent d'envoyer à proximité du cœur de petits échantillons puis de les récupérer après irradiation. L'activation, sous l'effet du rayonnement neutronique, de certains éléments chimiques contenus dans les échantillons permet d'en doser leur concentration par mesure de spectrométrie avec une sensibilité pouvant atteindre 10^{-12} g.

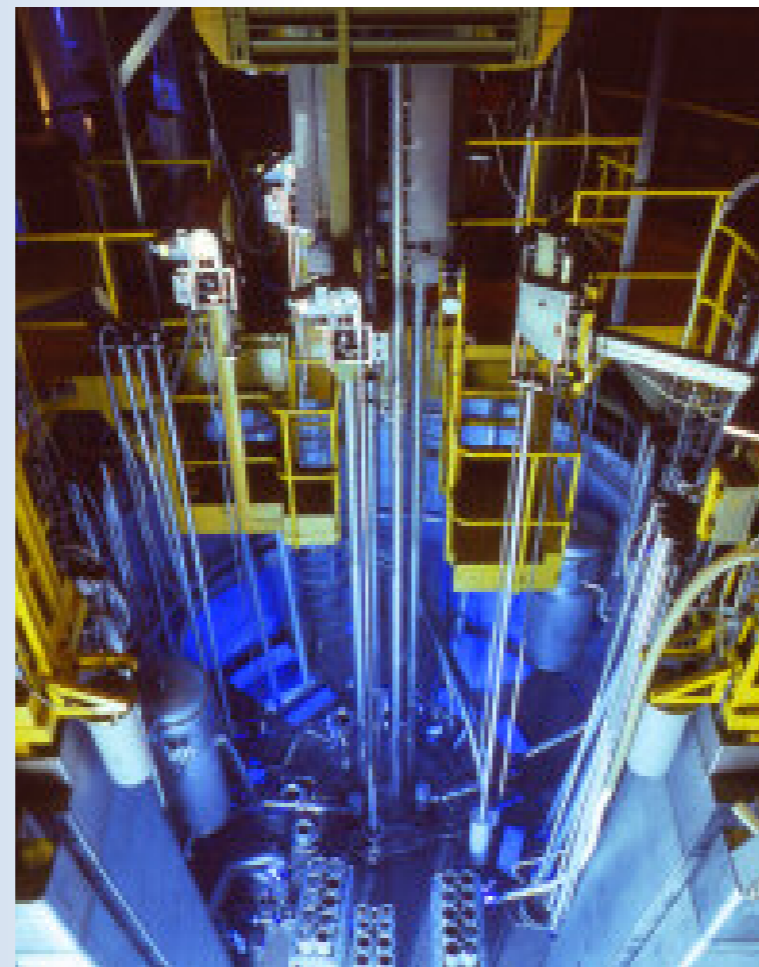
Mélange hétérogène de ponces et scories du Stromboli. Les traces des différents éléments qu'il contient sont caractéristiques de l'activité éruptive du volcan.

PRODUCTION DE RADIOÉLÉMENTS ET DOPAGE DU SILICIUM

5 canaux verticaux plongent à l'intérieur du réflecteur eau lourde.

1 canal est utilisé pour la production de radioéléments artificiels (REA) à usage médical, industriel, ou pour la recherche.

4 canaux sont utilisés pour le dopage par transmutation de lingots de silicium mono cristallin de différents diamètres (100 à 150 mm), dont la principale application est la production de semi-conducteurs pour l'électronique de puissance (diodes, IGBT, ...), nécessaires en particulier au contrôle de moteurs électriques (tramways, TGV, véhicules hybrides, ...).



Lingot de silicium irradié à ORPHÉE leur diamètre peut atteindre 15 cm.

DÉTERMINATION DES CONTRAINTES, TEXTURES ET PRÉCIPITÉS

La diffraction de neutrons en mesurant les variations de distances entre atomes permet de réaliser des cartographies de contraintes dans les pièces industrielles. Elle détermine les orientations cristallographiques préférentielles responsables de l'anisotropie des propriétés mécaniques ou électriques des métaux. La diffusion de neutrons aux petits angles est sensible aux hétérogénéités des matériaux à des échelles nanométriques.

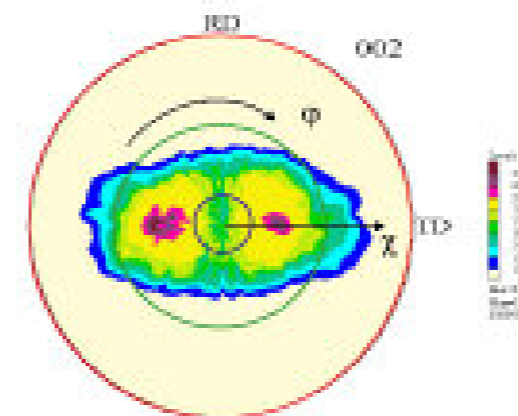
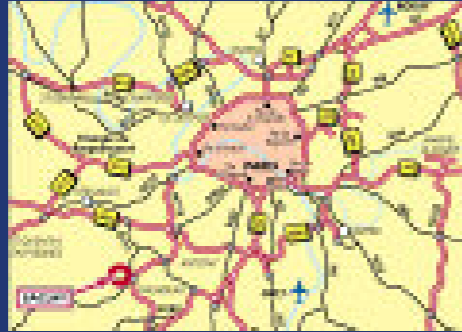


Figure de pôles sur un alliage de zirconium présentant une forte texture.



CONTACTS

ORPHÉE est localisé sur le centre d'Études Nucléaire de Saclay situé près d'Orsay, et accessible par la ligne de bus reliant la gare de Massy-Palaiseau à celle de Saint Quentin en Yvelyne.

► Adresse postale 91191, Gif-sur-Yvette Cedex.

LE RÉACTEUR est exploité par la Direction de l'Énergie Nucléaire du CEA pour le compte de la Direction des Sciences de la Matière du CEA.

► CEA Centre de Saclay, Service d'exploitation du réacteur Orphée, bât. 541.
Tél : (33)1 69 08 55 57

DES APPLICATIONS INDUSTRIELLES

gérées par direction de l'Énergie Nucléaire du CEA :

- neutronographie
- dopage du silicium
- fabrication de REA

► Service d'exploitation du réacteur ORPHÉE.

Tél. : (33)1 69 08 55 57

<http://www-llb.cea.fr/industrie>

UNE UTILISATION EN RECHERCHE

FONDAMENTALE à travers un laboratoire communs CEA-CNRS :

– l'étude de la structure et la dynamique de la matière par diffraction et diffusion de neutrons.

► Laboratoire Léon Brillouin
UMR12 CEA-CNRS
Tél. : (33)1 69 08 52 41
<http://www-llb.cea.fr>

