

SUPERMICROSCOPE

La soif de connaissance nous pousse à questionner le monde qui nous entoure.

De quoi est composée notre planète ? Que sait-on du processus de la vie ? Comment expliquer les propriétés de la matière et imaginer de nouveaux matériaux ? Pourrons-nous un jour lutter de façon efficace contre les virus, les catastrophes naturelles ou la pollution ?

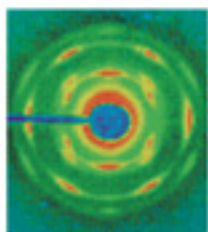
La plupart de ces questions ne peuvent être résolues que par une connaissance approfondie de la structure intime de la matière. Les scientifiques ont ainsi construit des instruments de plus en plus puissants, capables de sonder la matière à l'échelle des atomes et des molécules. Les sources de rayonnement synchrotron, comparables à des « supermicroscopes », apportent des informations inestimables dans de très nombreux domaines de

recherche. Une cinquantaine de synchrotrons dans le monde tentent de répondre aux besoins toujours croissants des scientifiques.

L'ESRF, centre de recherche européen associant 18 pays, est la source de lumière synchrotron la plus puissante d'Europe. Chaque année, plusieurs milliers de chercheurs viennent à Grenoble, dans un environnement scientifique de tout premier ordre, réaliser des expériences inédites, à la frontière de la science actuelle.

Les physiciens y côtoient des chimistes et des spécialistes des matériaux. Biologistes, médecins, météorologues, géophysiciens ou archéologues sont devenus à leur tour des utilisateurs assidus de l'ESRF. Les applications industrielles se multiplient également, notamment dans les domaines de la pharmacie, de la pétrochimie, de la micro-électronique ou des cosmétiques.

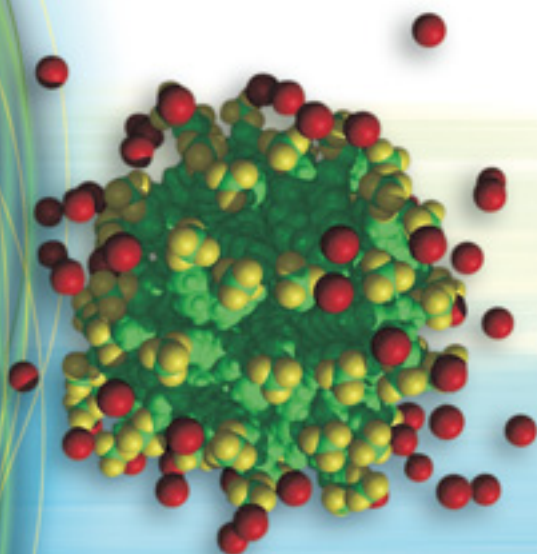
LUMIÈRE POUR



VOIR L'INVISIBLE

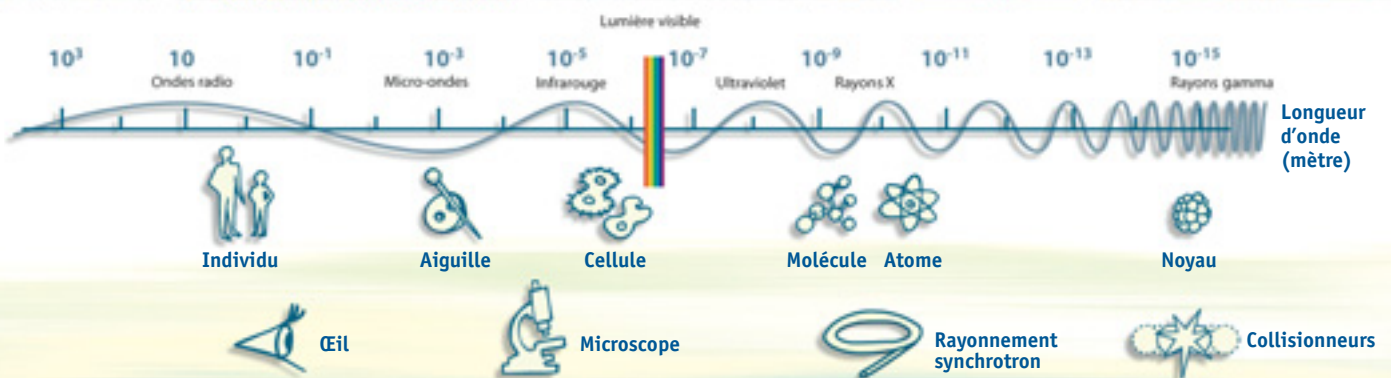
Durant des millénaires, la compréhension que l'homme a eue du monde s'est limitée à l'échelle macroscopique, la seule qui soit perceptible par notre œil. Et même si, dès l'Antiquité, certains philosophes ont eu l'intuition d'un monde fait d'atomes, il a fallu attendre le 20^e siècle pour enfin pouvoir explorer la matière à l'échelle des atomes et des molécules !

En effet, pour « voir » à cette échelle (de l'ordre du nanomètre, c'est-à-dire 1 milliardième de mètre, 10^{-9} m), il faut une lumière différente de la lumière visible, une lumière ayant une longueur d'onde beaucoup plus courte. Cette lumière existe, ce sont les rayons X, découverts par Röntgen en 1895. Les rayons X, en dehors de leurs applications bien connues en médecine, apportent des informations précieuses sur l'organisation des atomes à l'intérieur de la matière.





R L A S C I E N C E



Toutes les lumières ne sont pas équivalentes ! La lumière dite « visible », la seule que notre œil puisse percevoir, ne représente qu'une partie de la gamme des ondes électromagnétiques.

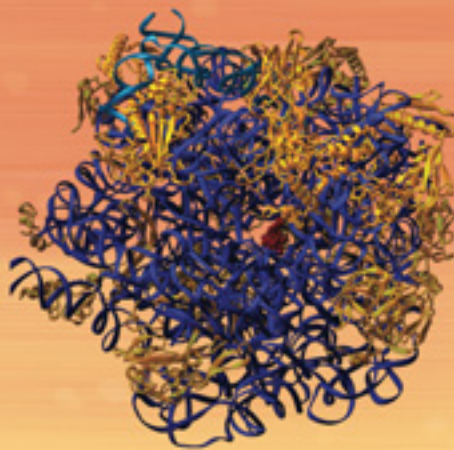
La lumière synchrotron produite à l'ESRF est en grande partie composée de rayons X. Ces rayons X sont très brillants, c'est-à-dire très fins et très intenses. Ils sont mille milliards de fois plus brillants que les rayons X utilisés à l'hôpital, comme le faisceau d'un laser est infiniment plus intense et plus fin que la lumière issue d'une bougie.

Par rapport aux rayons X traditionnels, l'extrême brillance des faisceaux de l'ESRF ouvre des champs d'application complètement nouveaux, en rendant par exemple possible l'observation d'échantillons de matière microscopiques, la recherche d'éléments ultra-dilués ou encore le suivi de réactions chimiques ou biologiques sur des échelles de temps extrêmement courtes.

BIOLOGIE

Pleins feux sur les protéines

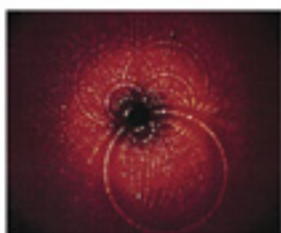
La biologie moléculaire, après s'être focalisée ces dernières années sur le séquençage des gènes, s'intéresse aujourd'hui aux protéines et à leurs fonctions. En effet les protéines, ces macromolécules indispensables à la vie, sont fabriquées à partir des gènes. Chaque protéine a une fonction bien définie, qui est directement liée à sa structure tridimensionnelle, c'est-à-dire à la façon dont les atomes sont organisés entre eux. Pour résoudre une structure de protéine à l'échelle de l'atome, la cristallographie par rayons X est la technique la plus utilisée. Grâce à ses qualités, le rayonnement synchrotron a permis des avancées remarquables en quelques années et est ainsi devenu un outil irremplaçable pour les biologistes.



Le ribosome, créateur de protéines

Le ribosome est la « machine » à fabriquer les protéines à partir de l'information génétique. Ce complexe macromoléculaire, situé au cœur de la cellule, est constitué d'ARN et de nombreuses protéines. Tous les regards se portent sur sa structure, car c'est une des clés permettant d'accéder à la compréhension du vivant. Petit à petit, le ribosome nous livre ses secrets. Des équipes de chercheurs étudient aujourd'hui, à l'aide du rayonnement synchrotron, l'action d'antibiotiques sur la production de protéines par le ribosome d'une bactérie.

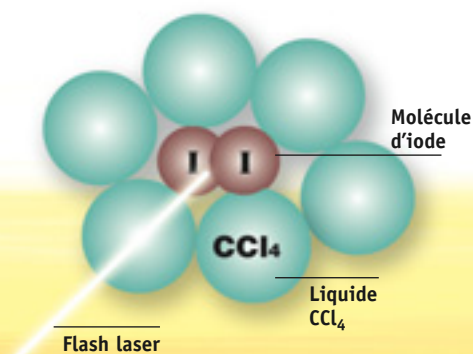
L A V I E , L E



C H I M I E

Réactions ultra-rapides

En chimie comme en biologie, les scientifiques se contentent de moins en moins d'une simple photo montrant des molécules à l'état statique. Ils veulent suivre leurs mouvements, par exemple au cours d'une réaction catalytique. Ils veulent intercepter les transitions de phase et les changements de structure, même imperceptibles ou extrêmement rapides. C'est donc un véritable défi que se sont lancé les scientifiques de l'ESRF en développant un procédé capable d'accéder à des temps de réaction de l'ordre de la nanoseconde (millième de milliardième de seconde, 10^{-9} s), voire même de la picoseconde (encore mille fois plus court) !



L'iode fait son cinéma

L'iode est une molécule de très grand intérêt, en particulier pour les chimistes et les biologistes. A l'ESRF, les chercheurs étudient comment cette molécule se constitue. Dans un premier temps, les scientifiques déclenchent la séparation des atomes d'iode en utilisant un flash laser de 150 femtosecondes (10^{-15} s). Ils éclairent ensuite les atomes avec une série d'impulsions de rayons X, d'une durée de 50 à 200 picosecondes (10^{-12} s) chacune. Ils obtiennent ainsi une succession d'images, véritable film du processus de reconstruction de la molécule.

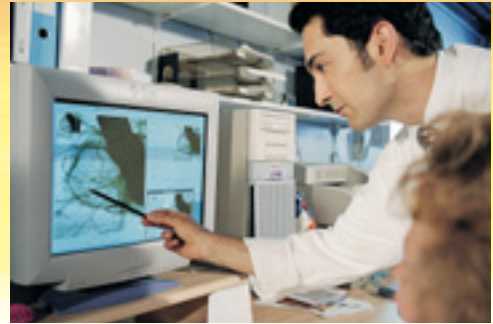
MÉDECINE

L'homme transparent

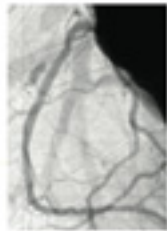
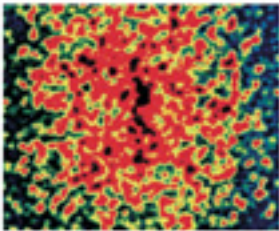
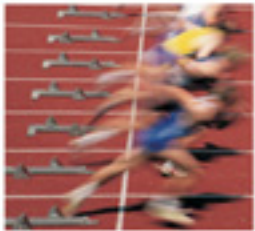
En médecine comme dans les autres domaines, la lumière synchrotron apporte ses qualités uniques, soit pour améliorer les techniques traditionnelles des rayons X, soit pour ouvrir la voie à des procédés complètement nouveaux. Les images synchrotron du cœur, des poumons ou du cerveau sont obtenues avec des doses de rayonnement moindres et de façon moins invasive qu'à l'hôpital. Leur très haute précision permet des études quantitatives inaccessibles jusqu'à présent. Les applications en thérapie des tumeurs cancéreuses sont également très prometteuses.

Exploration des artères

L'angiographie est une technique utilisée à l'hôpital pour visualiser les artères coronaires, soit pour détecter un rétrécissement (sténose) pouvant conduire à un infarctus, soit pour contrôler le bon état de l'artère après une opération (angioplastie). Cette technique d'imagerie implique l'utilisation d'un produit de contraste injecté dans le cœur au moyen d'un long tube souple introduit au niveau de l'artère fémorale (dans la jambe). A l'ESRF il est possible de pratiquer une angiographie moins invasive, car la lumière synchrotron fournit des images d'excellente qualité même avec un produit très dilué dans le corps, injecté par voie intraveineuse dans le bras.



M O U V E M E N T

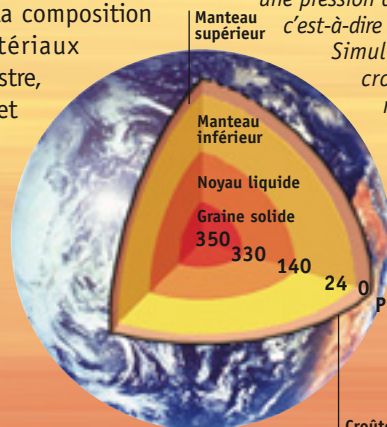


SCIENCES DE LA TERRE

Notre planète, cette inconnue

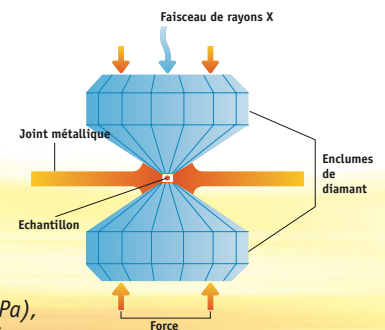
Les tremblements de terre, les volcans ou la tectonique des plaques sont les manifestations à la surface de notre planète de mouvements de très grande ampleur prenant naissance à des milliers de kilomètres sous nos pieds. Afin de mieux comprendre ces phénomènes, les géophysiciens s'intéressent à la composition et à la structure des matériaux présents dans la croûte terrestre, ainsi que dans le manteau et le noyau.

Les connaissances acquises au cours de ces recherches pourraient également aider à répondre à la question suivante : y a-t-il de la vie ailleurs dans l'univers ?



Voyage au centre de la Terre

Comme il n'est pas question d'aller au centre de la Terre, les scientifiques doivent tenter de reconstituer en laboratoire les conditions extrêmes de température et de pression qui y règnent. Une cellule faite avec deux pointes de diamant enserme un échantillon de matière microscopique (de l'ordre de 100 microns cubes) le portant à une pression d'une centaine de Gigapascal (100 GPa), c'est-à-dire 1 million de fois la pression atmosphérique. Simultanément, un faisceau laser peut faire croître la température jusqu'à plusieurs milliers de degrés. Pour extraire de l'information d'un tel micro-échantillon, il faut utiliser des rayons X exceptionnellement brillants. Les données obtenues aident ainsi les chercheurs à mieux connaître la Terre mais aussi les autres planètes.



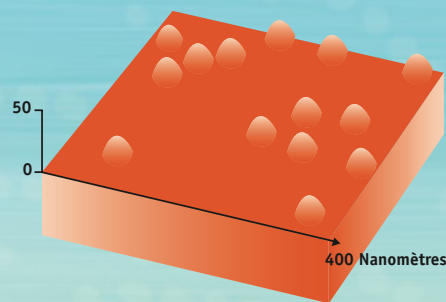
Croûte terrestre

PHYSIQUE

Plongée dans le nanomonde

Les physiciens voyagent entre l'espace sans limites des étoiles et des galaxies, et l'infiniment petit royaume des quarks. Et si, dans notre descente vers l'infiniment petit, nous nous arrêtons à mi-chemin ? Dans le nanomonde, le monde des atomes ? La nanophysique, c'est l'élucidation des structures géométriques, électroniques ou magnétiques de la matière à l'échelle du nanomonde, là où les théories classiques cèdent la place à la physique quantique.

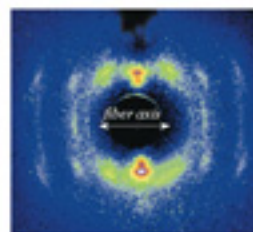
Les surfaces des matériaux, c'est-à-dire les quelques couches atomiques les plus superficielles, sont parmi les nano-objets les plus intéressants, à la fois pour leurs propriétés étonnantes et pour leurs applications potentielles dans l'industrie microélectronique. Elles sont très étudiées à l'ESRF.



Ilots d'atomes quantiques

Depuis peu, les scientifiques savent faire croître sur les surfaces des « points quantiques », petits îlots d'atomes que l'on peut observer mais aussi manipuler. La lumière synchrotron aide à connaître avec précision la structure et la composition de ces îlots d'atomes, ouvrant ainsi des perspectives intéressantes pour la création de nouveaux composants. On pourrait, par exemple, utiliser des points quantiques semi-conducteurs dans de petits lasers de surface, capables de produire certaines couleurs inaccessibles autrement (par exemple le « laser bleu »). Une recherche de longue haleine qui aboutira peut-être à la création d'écrans ultraplats.

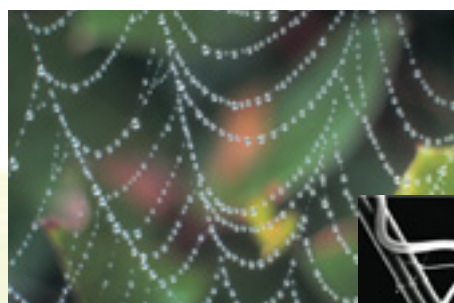
S A U T D A N S



MATÉRIAUX

De plus en plus « intelligents »

Une grande variété de matériaux sont étudiés à l'aide des rayons X : alliages métalliques, semi-conducteurs, cristaux liquides, polymères, colloïdes, verres, fibres optiques, plastiques, catalyseurs... Les matériaux biologiques sont également scrutés attentivement à l'échelle microscopique, pour tenter de percer les secrets de leurs remarquables propriétés. Les techniques synchrotron mises à la disposition des scientifiques à l'ESRF sont extrêmement diversifiées et sont une aide précieuse pour le développement de nouveaux matériaux. De plus en plus, l'objectif est de créer des matériaux ayant des propriétés très particulières décidées à l'avance. Pour cela, la connaissance de ce qui se passe au niveau des atomes est indispensable.



7 μ m

Remarquable soie d'araignée

Peut-on imaginer un polymère qui aurait la résistance d'un fil d'acier et qui serait en même temps deux fois plus élastique que le nylon ? Ce polymère, impossible à fabriquer par l'homme jusqu'à présent, existe cependant à l'état naturel : c'est le fil de soie produit par l'araignée. A l'ESRF, les chercheurs étudient le fil au cours de sa fabrication par l'araignée. Ils essaient de comprendre comment les molécules s'organisent les unes par rapport aux autres pour donner des propriétés mécaniques aussi extraordinaires. Les applications d'un polymère artificiel ayant de telles propriétés seraient innombrables : médecine, bâtiment, habillement, sport, industrie automobile.

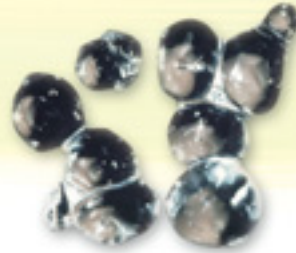
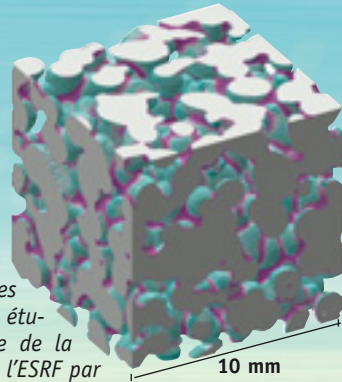
ENVIRONNEMENT

Maintenir l'équilibre

Nous avons réalisé à quel point l'équilibre de la nature était fragile et combien l'activité humaine pouvait parfois être néfaste. L'étude et la protection de notre environnement sont devenues des préoccupations essentielles de notre société. Des scientifiques viennent à l'ESRF pour étudier de nouvelles formes d'énergie, moins polluantes, ou pour analyser la qualité de sols ou d'eaux contaminés. Ils peuvent suivre la trace de particules radioactives après un accident nucléaire comme Tchernobyl. Ils s'intéressent aussi aux phénomènes naturels que sont les volcans ou les avalanches et tentent de mieux les comprendre pour pouvoir éventuellement les prévenir.

Modélisation des grains de neige

De plus en plus d'accidents mortels sont à déplorer suite aux avalanches aux abords des stations de sports d'hiver. Afin de mieux maîtriser les phénomènes avalancheux, les météorologistes étudient la structure microscopique de la neige. Des recherches réalisées à l'ESRF par microtomographie ont permis d'obtenir des images en trois dimensions de grains de neige fournissant des informations essentielles sur la stabilité du manteau neigeux. Ces nouvelles données seront intégrées dans les programmes de simulation qui évaluent les risques d'avalanche.



LE FUTUR



INDUSTRIE

La technologie de demain

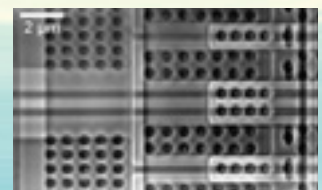
Un quart des recherches effectuées à l'ESRF ont un lien direct avec des applications industrielles. En effet l'industrie fait appel aujourd'hui aux techniques les plus sophistiquées pour sa recherche de haut niveau. D'autant que les conditions d'expérience à l'ESRF peuvent reproduire l'environnement industriel : champ électrique ou magnétique, contraintes mécaniques, réactions chimiques, mais également température, pression, humidité...

Dans des secteurs aussi variés que la pharmacie, les cosmétiques, l'agroalimentaire, le bâtiment, la microélectronique, la métallurgie, la papeterie ou l'industrie chimique, les industriels optimisent leur recherche et développement grâce à la lumière synchrotron.

Observation de pointe

Les composants microélectroniques jouent un rôle crucial dans de nombreuses industries.

Parce que des phénomènes physiques à l'œuvre dans ces composants ne sont pas encore parfaitement compris et maîtrisés, il est parfois difficile de connaître la cause de certains dysfonctionnements. L'observation à l'échelle microscopique des composants microélectroniques est donc un enjeu de taille pour l'industrie. Le pouvoir de pénétration des rayons X produits à l'ESRF permet une observation non-destructrice des circuits et leur brillance fournit des images avec une extrême résolution.



LA COURSE DES ÉLECTRONS

Des électrons, émis par un canon à électrons, sont d'abord accélérés dans un accélérateur linéaire (linac) puis transférés dans un accélérateur circulaire (booster synchrotron) jusqu'à ce qu'ils atteignent une énergie de 6 milliards d'électronvolts (6 GeV). Ils sont alors envoyés dans l'anneau de stockage, de 844 mètres de circonférence, dans lequel ils tournent à énergie constante pendant des heures à l'intérieur d'une chambre à vide.

Dans l'anneau de stockage

L'anneau de stockage est constitué de sections courbes et de sections droites. La trajectoire des électrons est définie par les champs magnétiques qu'ils traversent. On peut distinguer plusieurs types d'aimants :

Les aimants de courbure

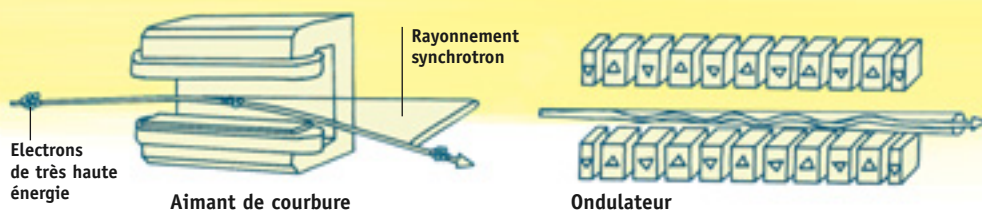
Lorsqu'ils passent dans ces aimants, les électrons sont déviés de plusieurs degrés et décrivent ainsi une trajectoire courbe. Cette déviation conduit les électrons à émettre de la lumière synchrotron.

Les onduleurs

Ces structures magnétiques formées de petits aimants juxtaposés forcent les électrons à suivre une trajectoire ondulée. Les cônes de lumière émis à chaque courbure se superposent, constituant ainsi un faisceau de lumière beaucoup plus intense et concentré qu'à la sortie d'un aimant de courbure.

Les aimants de focalisation

Ces aimants, disposés sur les sections droites de l'anneau de stockage, sont utilisés pour concentrer le faisceau d'électrons afin de le rendre le plus fin possible. Un faisceau d'électrons d'une telle finesse permet de produire des rayons X extrêmement brillants.

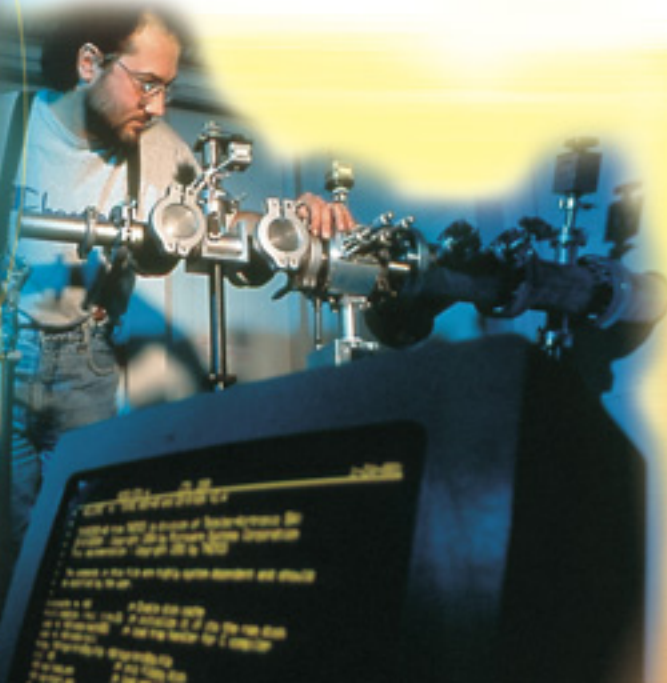


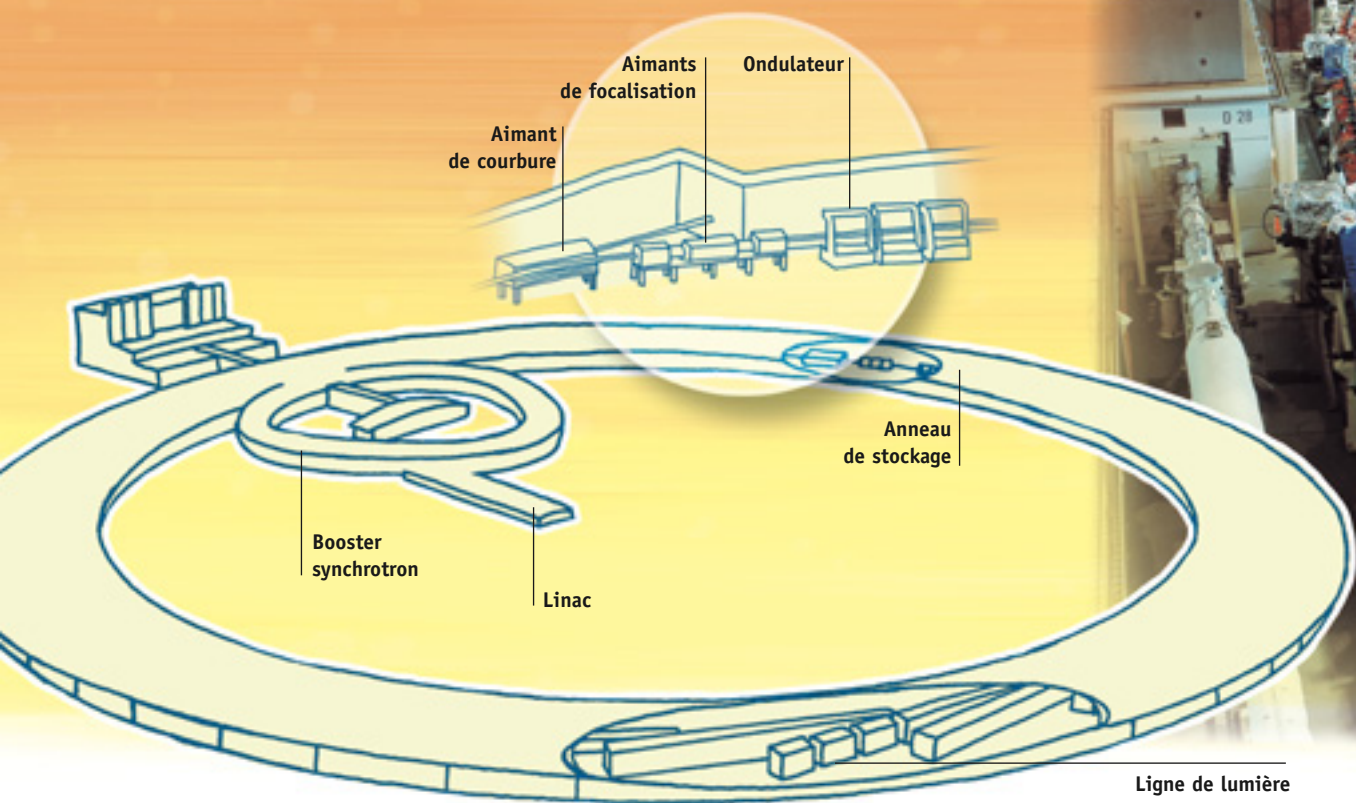
A N N E A U D E



DES FAISCEAUX DE

Les faisceaux de rayonnement synchrotron émis par les électrons se dirigent vers les **lignes de lumière**, disposées tout autour de l'anneau dans le hall d'expériences. Jour et nuit, les chercheurs y soumettent leurs échantillons de matière aux rayons X. Chaque ligne de lumière est spécialisée, soit dans une technique, soit dans un domaine de recherche.





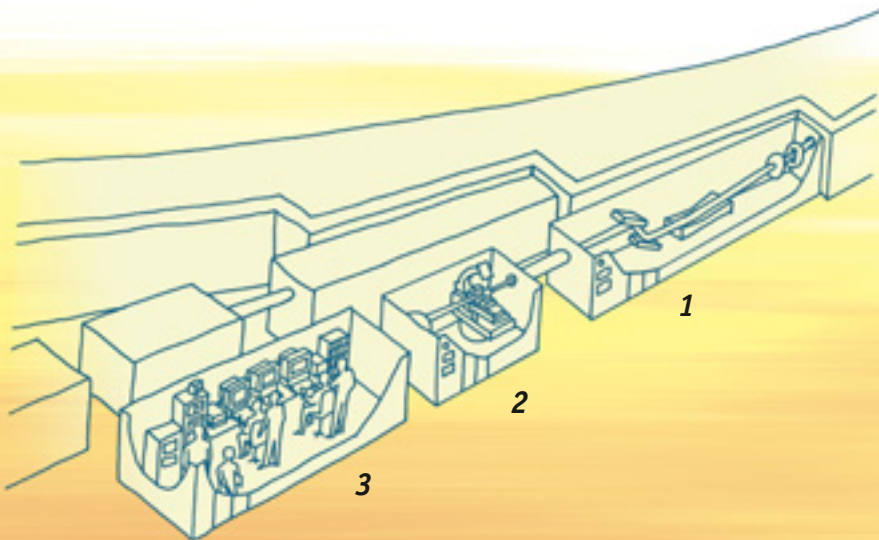
LUMIÈRE



LUMIÈRE AUTOUR DE L'ANNEAU

Sur une ligne de lumière

- 1 ■ **La cabine optique**, accolée à l'anneau de stockage, comporte des instruments d'optique qui donnent à la lumière les caractéristiques désirées pour l'expérience.
- 2 ■ **La cabine expérimentale** contient un dispositif sur lequel est monté l'échantillon de matière à étudier. Un ou plusieurs **détecteurs** enregistrent les informations générées au moment de l'interaction de la lumière avec la matière.
- 3 ■ **La cabine de contrôle** permet aux chercheurs de diriger leurs expériences et de recueillir les données.



DES MILLIERS D'UTILISATEURS

Chaque année, plusieurs milliers de chercheurs viennent à Grenoble pour bénéficier des propriétés exceptionnelles de la lumière synchrotron émise à l'ESRF.

Deux fois par an, l'ESRF reçoit des propositions de recherche en provenance de laboratoires d'université ou de centres nationaux de recherche, essentiellement européens. Les projets sont sélectionnés par des comités extérieurs à l'ESRF, selon le critère d'excellence. Seul un projet sur deux environ est finalement retenu. Chaque équipe se voit attribuer un certain « temps de faisceau », 3 jours en moyenne, sur la ligne de lumière la mieux adaptée à l'expérience.

Prises en charge sur le plan matériel (voyage et séjour à Grenoble compris), les équipes d'utilisateurs peuvent se consacrer entièrement à la science. Sur chaque ligne de lumière, des scientifiques, ingénieurs et techniciens de l'ESRF s'attachent à optimiser les conditions de l'expérience et l'acquisition des données. Les

utilisateurs repartent ensuite dans leurs laboratoires analyser les données. Les résultats seront plus tard publiés dans des revues spécialisées.

L'ESRF entretient par ailleurs des liens étroits avec l'industrie. De très nombreuses recherches du domaine public sont faites en collaboration avec des groupes industriels. Ces derniers peuvent également réaliser des travaux confidentiels, mais les prestations de l'ESRF sont alors payantes.

Le caractère international de l'ESRF se reflète dans son personnel, issu de plus de 30 pays au monde. Ce mélange de cultures et d'approches scientifiques variées crée une richesse inestimable. L'activité scientifique intense de l'ESRF est amplifiée par la mobilité des jeunes chercheurs ainsi que par le très grand nombre de stagiaires, étudiants en thèse et post-doctorants.

L'ESRF bénéficie de l'environnement scientifique exceptionnel que constitue Grenoble et ses environs. Le synchrotron est partie prenante

L'ESRF, CARREFOU



UNE COOPÉRATION EUROPEENNE

Cet ambitieux projet, véritable défi technologique, scientifique et humain, ne pouvait être qu'international. En 1988, douze pays européens ont apporté leur financement et leur savoir-faire pour permettre au synchrotron de Grenoble de voir le jour. Six autres pays se sont associés par la suite à cette synergie indispensable à la recherche scientifique de haut niveau.



**Budget annuel
de fonctionnement**
73 millions d'Euros

dans de nombreuses collaborations, comme le Partenariat pour la Biologie Structurale avec des instituts de recherche situés sur le même site. L'ESRF est également impliqué dans des projets et réseaux d'excellence initiés par l'Union Européenne.

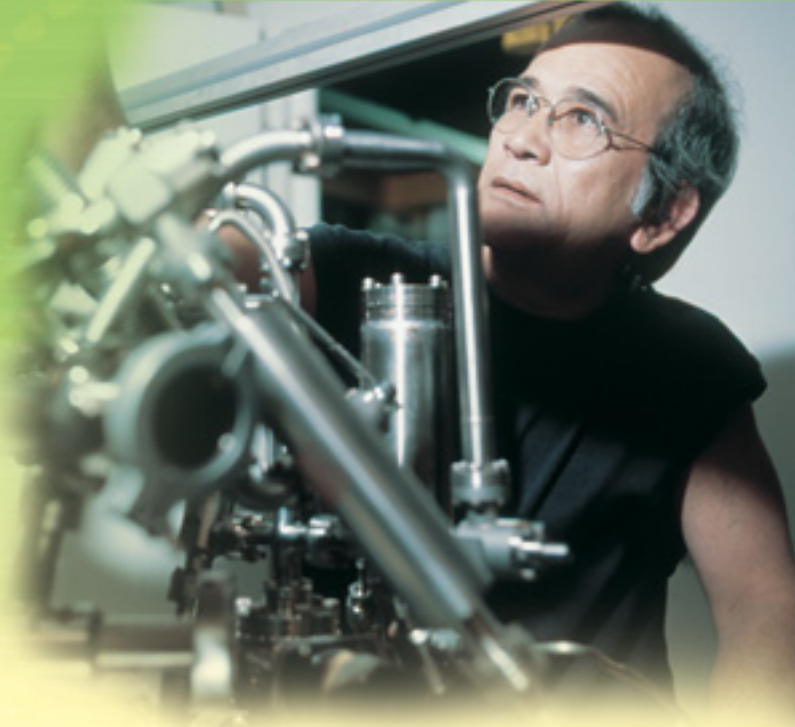
Enfin, tout au long de l'année, l'ESRF organise des séminaires et des conférences, faisant de Grenoble un lieu privilégié d'échanges et de rencontres pour la communauté scientifique internationale.

QUELQUES DATES

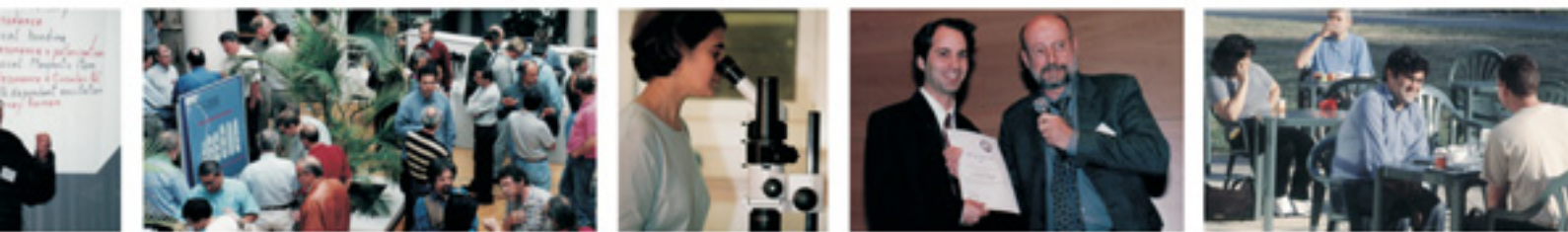
1988 : début de la construction du synchrotron de Grenoble.

1994 : l'ESRF ouvre ses portes aux utilisateurs avec une quinzaine de lignes en fonctionnement.

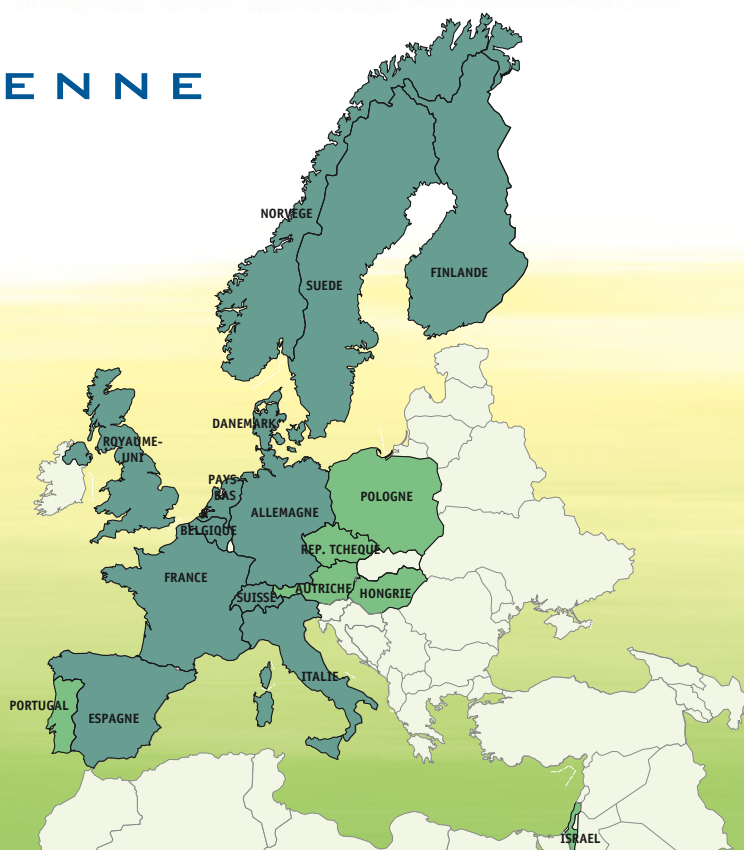
Depuis 1998 : quarante lignes de lumière accueillent des chercheurs venus du monde entier.



UR DE LA SCIENCE



ROPÉENNE



■ Contributions au budget annuel

France	27,5 %
Allemagne	25,5 %
Italie	15 %
Royaume-Uni	14 %
Espagne	4 %
Suisse	4 %
Benesync (Belgique, Pays-bas)	6 %
Nordsync (Danemark, Finlande, Norvège, Suède)	4 %

■ Contributions additionnelles

(pourcentages se référant aux contributions des membres)

Portugal	1 %
Israël	1 %
Autriche	1 %
République tchèque	0,35 %
Hongrie	0,2 %
Pologne	0,6 %



C O N T A C T S

European Synchrotron Radiation Facility (ESRF)
 (Installation Européenne de Rayonnement Synchrotron)

6, rue Jules Horowitz, BP 220, F-38043 Grenoble Cedex 09, France

Tél. +33 (0)4 76 88 20 00 - Fax +33 (0)4 76 88 20 20

Email : communication@esrf.fr

www.esrf.fr