



LUMIERE POUR LA SCIENCE





Lumière pour la science

4
Au cœur
du vivant

Un anneau ultrabrillant

2

L'ESRF (Installation européenne de rayonnement synchrotron) brille de tous ses feux sur la recherche scientifique mondiale. Les faisceaux de lumière produits à l'ESRF – des rayons X extrêmement intenses – attirent des scientifiques de tous horizons, venant du monde académique aussi bien que de l'industrie.

Un centre d'excellence

L'ESRF, situé à Grenoble (France), est un institut de recherche financé par dix-neuf pays. Depuis son ouverture en 1994, ce "super-microscope" offre aux scientifiques les rayons X les plus brillants d'Europe, dans le but d'explorer la matière sous toutes ses formes : molécules biologiques, nanostructures, polymères et composants électroniques, mais également trésors archéologiques.

Ces rayons X aux propriétés exceptionnelles sont produits par des électrons de très haute énergie circulant dans un accélérateur aux dimensions impressionnantes, l' "anneau de stockage". Depuis le contrôle du faisceau d'électrons jusqu'à l'acquisition et l'analyse des données de

chaque expérience, les technologies les plus avancées sont mises en œuvre pour assurer à l'ESRF, pour de longues années encore, sa place de leader de la communauté synchrotron.

Améliorer la santé, créer de nouveaux matériaux

Chaque année, des milliers de chercheurs du monde entier viennent à Grenoble réaliser des expériences sur les 42 lignes de lumière de l'ESRF, en fonctionnement 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7. L'ESRF, qui est bien plus qu'une source de rayons X très intenses, offre à ses visiteurs scientifiques un large éventail de services haut de gamme et d'incomparables possibilités de collaboration internationales.



6

En s'inspirant
de la nature

8

Comment
fonctionne l'ESRF?

10

Aux confins
de la science

12

Nouveaux
défis

14

Une vision
européenne

Vision en rayons X

“Voir” les atomes

La recherche scientifique est largement guidée par la soif de comprendre le monde qui nous entoure : de quoi est composée notre planète ? que sait-on des processus du vivant ? comment expliquer les propriétés de la matière ? sera-t-il possible un jour de lutter de façon efficace contre le cancer, d'utiliser des matériaux renouvelables et de contrer la pollution ?

La plupart de ces questions ne peuvent être résolues que par une connaissance approfondie de la structure intime de la matière, au niveau des atomes et des molécules. Cependant, les atomes mesurent environ un dixième de nanomètre (1 nanomètre = un milliardième de mètre = 10^{-9} m), ce qui les

rend invisibles même en utilisant un microscope optique. Pour “voir” les atomes, et explorer les matériaux au-delà de leurs propriétés macroscopiques, il faut une lumière “magique” ayant une très courte longueur d'onde : les rayons X.

La brillance extrême des rayons X synchrotron

Les rayons X interagissent avec la matière de multiples façons. Ils pénètrent à l'intérieur de la matière, ce qui est à l'origine de leurs applications médicales. Mais les rayons X peuvent également élucider la structure tridimensionnelle des cristaux, grâce à une technique appelée cristallographie. Pendant longtemps, les chercheurs ont utilisé les tubes à rayons X pour obtenir cette infor-

mation, cruciale en science des matériaux ainsi que pour l'étude des molécules biologiques. Comparé aux rayons X de l'hôpital, un faisceau de rayons X produit dans un synchrotron est beaucoup plus intense et concentré, un peu comme un pinceau laser. Cette brillance du faisceau permet par exemple d'enregistrer les données d'une expérience dans un temps beaucoup plus court. De plus, des pans entiers de recherche inédite se sont ouverts, dépassant largement les rêves les plus fous des cristallographes il y a quarante ans.

Au cœur du vivant

Composées d'acides aminés, les protéines sont indispensables à la structure, au fonctionnement et à la régulation des cellules et des tissus des organismes vivants. Elles incluent les enzymes, les hormones et les anticorps, mais peuvent aussi être redoutables, à l'instar des protéines des enveloppes de virus, qui peuvent tromper les défenses de l'organisme et provoquer des maladies comme la grippe ou le sida.

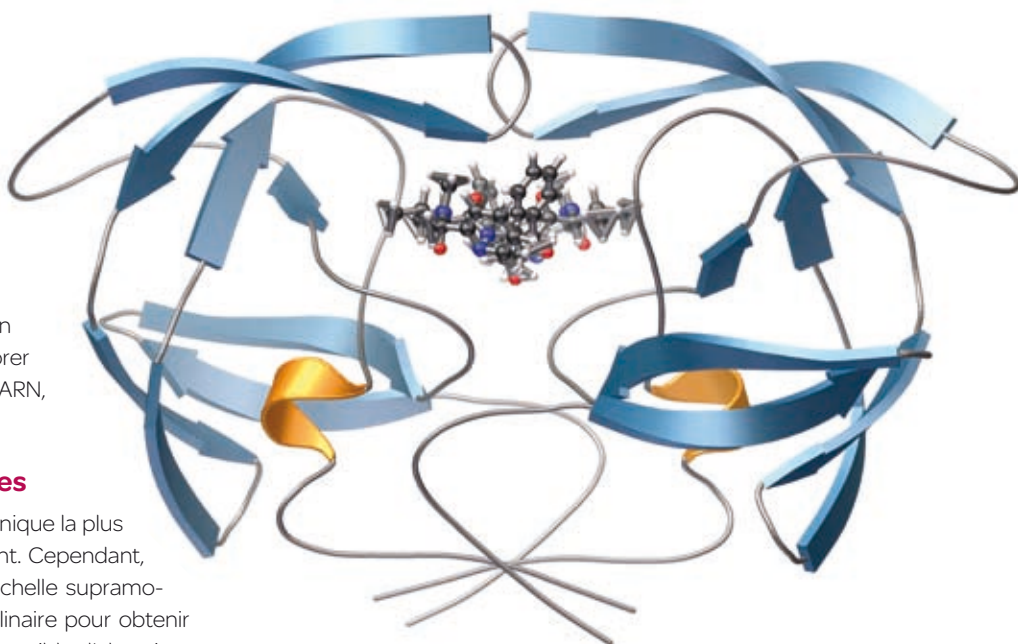
Une révolution en biologie structurale

Lien entre forme et fonction

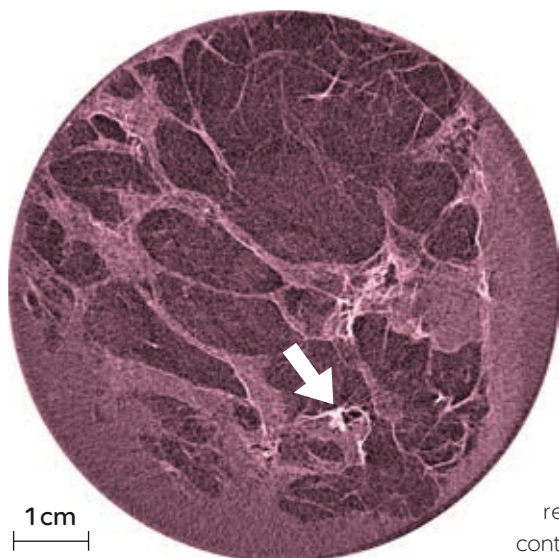
Les protéines sont de grosses molécules pouvant contenir plusieurs centaines de milliers d'atomes. Chacune d'elle a une forme spécifique, appelée la "structure 3D". Les détails atomiques de cette structure fournissent une information de tout premier ordre sur la fonction de la protéine, et en particulier sur son site actif, qui est l'endroit où la réaction biologique a lieu. Les faisceaux de rayons X produits dans un synchrotron sont, par leur brillance, un moyen unique d'explorer les macromolécules de la vie : protéines, ADN, ARN, ainsi que ribosome, nucléosome ou virus.

Les rayons X pour étudier les protéines

La cristallographie par rayons X est de loin la technique la plus utilisée pour étudier les protéines individuellement. Cependant, les systèmes biologiques plus complexes – à l'échelle supramoléculaire – demandent une approche multidisciplinaire pour obtenir l'image la plus complète possible. À l'ESRF, il est possible d'obtenir cette information en combinant des techniques, à basse et haute résolution : diffusion des rayons X aux petits angles, spectroscopie d'absorption en rayons X, microscopie en rayons X et spectroscopie infrarouge.



Structure 3D d'une protéine du HIV-1.



Tumeur du sein rendue visible par une nouvelle technique synchrotron.

Recherche médicale de pointe

L'invisible rendu visible

À l'hôpital, la tomographie (ou scan) est une technique d'imagerie en trois dimensions très puissante, mais qui ne différencie pas toujours les tissus mous les uns des autres. À l'ESRF, l'imagerie par contraste de phase utilise la légère déviation des faisceaux de rayons X cohérents lorsqu'ils traversent des tissus de densités différentes. Cette technique accentue les contrastes dans les tissus mous, faisant

apparaître des détails invisibles par d'autres techniques et permettant ainsi la détection précoce de tumeurs.

Radiothérapie en progrès

Les rayons X conventionnels utilisés en radiothérapie, bien qu'efficaces pour supprimer les cellules cancéreuses, peuvent aussi abîmer les tissus sains autour de la tumeur. Les rayons X synchrotron, très intenses et focalisés, peuvent être contrôlés de façon à atteindre préférentiellement les tissus cancéreux pour les détruire.

Cristallographie par rayons X

Où sont les atomes ?

La cristallographie par rayons X est un outil extrêmement puissant pour identifier les atomes individuels et leurs positions dans les matériaux. La technique est basée sur la diffraction des rayons X par un cristal. Dans le cas d'un cristal de protéine, des molécules de protéine identiques se répètent régulièrement sur un réseau tridimensionnel. Les points de lumière résultant de la diffraction (le diagramme de diffraction) sont en relation avec la structure de la molécule et révèlent l'arrangement des atomes dans la structure.

Bien sûr, pour résoudre la structure d'une protéine par cristallographie, il faut d'abord produire des cristaux de cette protéine, ce qui est parfois très difficile, voire impossible. En utilisant des rayons X synchrotron très

brillants, on peut étudier des cristaux minuscules ou imparfaits qui auraient été rejetés il y a une dizaine d'années car inutilisables. Un biologiste, utilisateur de l'ESRF, nous le confirme : "Avant, on étudiait ce que l'on pouvait étudier. Aujourd'hui, on étudie ce que l'on veut étudier."

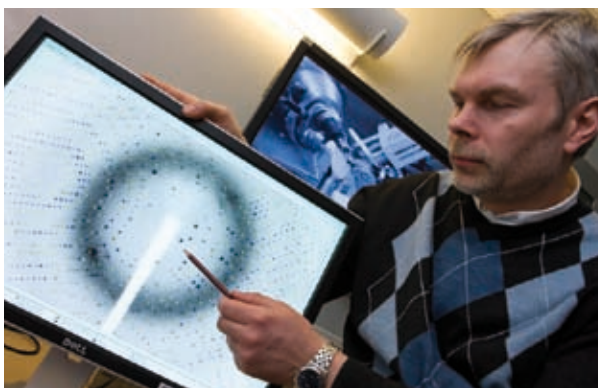


Diagramme de diffraction.

Focus

Recherche pharmaceutique



Cristaux de protéine.

Trouver le bon médicament

Le développement de nouveaux médicaments est une entreprise à haut risque qui exige une vision à long terme, beaucoup d'expérience technique et stratégique ainsi qu'un savoir-faire dans de nombreux domaines. L'un des objectifs de l'industrie pharmaceutique aujourd'hui est de concevoir des médicaments – ligands – capables de cibler des sites particulièrement favorables (souvent des protéines) dans les virus ou les bactéries.

Synchrotron et vitesse

La conception de médicaments à partir de considérations structurales ("structure-based drug design") dépend en grande partie de la cristallographie à haut débit, dans laquelle de très nombreux cristaux sont passés au crible des rayons X. Les instruments hautement automatisés des synchrotrons sont devenus indispensables dans la première phase de découverte de nouveaux médicaments, car ils permettent de visualiser un très grand nombre de structures possibles de ligands-protéines.



En s'inspirant de la nature...

Comprendre le monde qui nous entoure est depuis toujours le grand défi des sciences naturelles. Parce qu'elle nous permet d'observer toutes sortes de réactions *in situ*, la lumière synchrotron révolutionne notre vision du monde à l'échelle atomique et moléculaire.

Les profondeurs cachées de l'eau



Comprendre les propriétés de l'eau est crucial pour le futur de notre planète.

Essentielle pour la vie

L'eau est un élément fondamental pour la vie, l'agriculture et l'environnement. Nous savons que l'eau existe sous trois formes : solide, liquide et gaz. Mais c'est ce que nous ne savons pas qui intrigue les scientifiques du monde entier. Les propriétés surprenantes de l'eau posent des défis extraordinaires en biologie, chimie et physique, de même que dans les sciences appliquées comme la géologie, la glaciologie et l'océanographie.

Une forme de glace pour stocker des gaz

Les scientifiques s'intéressent à une forme de glace appelée hydrate clathrate, que l'on trouve dans le fond des océans ou dans les régions à permafrost. Ces hydrates peuvent piéger des molécules de gaz comme le dioxyde de carbone ou l'hydrogène dans des cages formées par les liaisons hydrogène des molécules d'eau. En utilisant la réflectivité des rayons X pour observer la



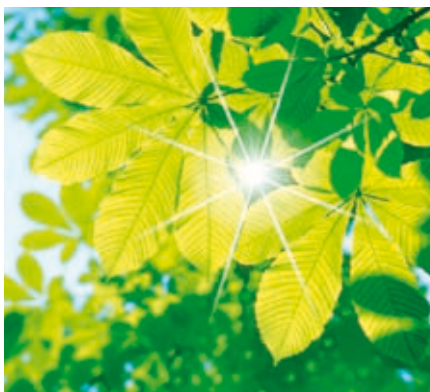
Microstructure de la "neige blanche", une forme "sèche" de neige.

formation de la couche d'hydrate, ainsi que la diffraction des rayons X pour les études sous hautes pressions, les scientifiques en apprennent beaucoup sur ces matériaux qui pourraient être utilisés dans le futur pour piéger et stocker des gaz en excédent.

Un nouvel élan pour l'énergie solaire

Étudier la photosynthèse...

Si l'électricité des bâtiments était produite par la lumière du soleil, la crise d'énergie globale pourrait être évitée. Malheureusement, le manque d'efficacité des technologies solaires actuelles fait que cette révolution reste à l'état de rêve. Même les appareils les plus avancés ne peuvent convertir que 40 % de l'énergie solaire en électricité. En étudiant la photosynthèse de plus près, nous pourrions mieux la comprendre et – peut-être – la maîtriser. Dans la nature, une seule enzyme, appelée photosystème II, est capable de réaliser cette réaction cruciale (oxydation de molécules d'eau et production d'oxygène) avec le maximum d'efficacité. Cette enzyme se trouve dans les plantes, les algues et les cyanobactéries. C'est elle qui



La photosynthèse : un moyen efficace pour transformer la lumière du soleil en énergie pour la vie.

a progressivement créé, au cours de millions d'années, l'atmosphère riche en oxygène que nous connaissons aujourd'hui.

... en filmant la réaction avec des rayons X

La protéine photosystème II a été étudiée dans le moindre détail par cristallographie, mais il fallait une autre technique, la spectroscopie d'absorption avec résolution temporelle, pour pouvoir suivre "en ligne", à l'ESRF, le cycle complet du mécanisme sophistiqué d'oxydation de l'eau. La compréhension de ce mécanisme est aussi la clé pour le développement d'une nouvelle génération de piles rechargeables, dans lesquelles les électrons de l'eau pourraient réduire des protons par réaction photocatalytique. L'énergie solaire pourrait ainsi être utilisée pour produire de l'hydrogène.

... la technologie devient plus verte

Merveilleux corps

Des os solides et résistants

La brillance des rayons X, en révélant l'ingéniosité du corps humain, peut aussi inspirer des avancées scientifiques et des technologies innovantes. Les os, par exemple, sont l'échafaudage qui soutient

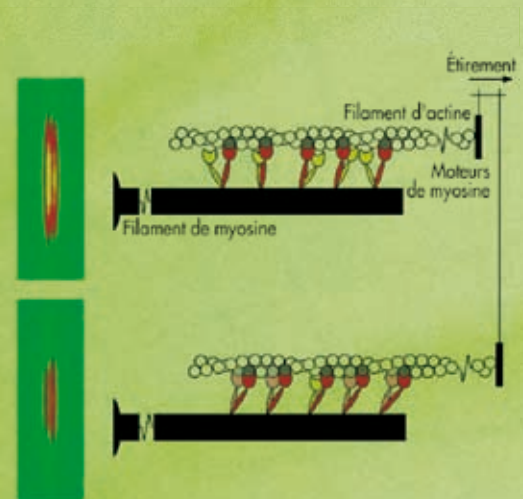
l'ensemble du corps et pour cette raison ils doivent être solides et résistants. Le secret des propriétés remarquables des os réside dans leur structure complexe : une combinaison de bio-polymère (collagène) et de nanoparticules minérales. Grâce à différentes techniques en rayons X, les scientifiques peuvent étudier à la fois la structure des os et leur comportement mécanique. Ces études aideront à créer de nouveaux matériaux plus "intelligents".



Les tissus biologiques sont d'excellents modèles pour les nouveaux matériaux.

Des muscles nanostructurés

L'étude des muscles est aussi enrichissante. Bien que les contractions musculaires soient visibles à l'échelle macroscopique, elles sont la somme de milliards de contractions microscopiques individuelles. Des chercheurs ont découvert qu'un polymère synthétique nano-structuré contenant de l'acide poly(métracrylique) change de conformation en passant d'un environnement acide à un environnement basique, lorsqu'il est soumis à une force mécanique. Ils ont ainsi pu produire un muscle artificiel tout simple, réagissant chimiquement au taux d'acidité de la solution dans laquelle il baigne.



Étude de la réaction des protéines (actine et myosine) lorsqu'un muscle est étiré.

Des voitures plus propres

Le réchauffement climatique fait émerger un fort besoin de technologies plus respectueuses de l'environnement.

Par exemple, il est devenu impératif d'améliorer les pots catalytiques des voitures, qui atténuent la toxicité des gaz d'échappement. Des matériaux coûteux comme le platine sont au cœur des catalyseurs d'aujourd'hui, sous forme de nanoparticules attachées à un substrat poreux en céramique. Lorsqu'elles sont soumises à des températures élevées (800 °C et plus), ces nanoparticules ont tendance à s'agglomérer, diminuant ainsi la surface active du catalyseur.

À l'ESRF, les phénomènes d'agglomération et de dispersion des particules métalliques ont été étudiés de façon très précise. Cette observation a été possible grâce à la technique "operando" qui permet de reproduire la réaction catalytique sur une ligne de lumière et de suivre cette réaction *in situ* en combinant spectroscopie d'absorption en rayons X et en infrarouge.



Des pots catalytiques plus performants pour des voitures plus propres.

Comment fonctionne l'ESRF

La lumière synchrotron est produite lorsque des électrons de haute énergie, circulant dans un anneau de stockage, sont déviés par des champs magnétiques. Le premier faisceau de lumière synchrotron a été observé en 1947. Depuis, des progrès spectaculaires ont été réalisés en physique des accélérateurs, électronique, informatique, ainsi qu'en technologies du magnétisme et du vide.

Aujourd'hui, les sources de lumière synchrotron dites "de troisième génération" exploitent les dernières avancées techniques pour produire des faisceaux de rayons X très intenses, en demande croissante dans le monde entier.



1 L'accélérateur linéaire (linac)

Au départ du linac, des électrons sont émis par un canon à électrons, un appareil similaire à celui présent dans les tubes cathodiques des télévisions. Ces électrons sont regroupés sous forme de "paquets", et progressivement accélérés par un champ électrique, à l'intérieur d'une chambre à vide, où ils atteignent rapidement une vitesse très proche de celle de la lumière.

2 Le booster synchrotron

Avant d'entrer dans l'anneau de stockage géant, les électrons doivent atteindre leur énergie finale, 6 milliards d'électronvolts (GeV). Cette accélération est obtenue dans un accélérateur de 300 mètres de circonférence, que l'on appelle booster synchrotron. Ce booster contient des cavités accélératrices ainsi que des aimants de courbure. Les aimants forcent les électrons à suivre

une trajectoire courbe. La force du champ magnétique doit être augmentée progressivement de façon synchronisée avec la montée en énergie des électrons, ce qui explique le nom de "synchrotron" donné à ce type d'accélérateur. Dès que les électrons atteignent l'énergie de 6 GeV – en à peine 50 millisecondes – ils sont envoyés dans l'anneau de stockage.

3 L'anneau de stockage

L'anneau de stockage, de 844 mètres de circonférence, est l'endroit où les électrons circulent pendant des heures, à la vitesse de la lumière, à l'intérieur d'un tube dans lequel règne l'ultravide (environ 10^{-9} mbar). Au cours de leur voyage dans l'anneau, les électrons passent dans différents types d'aimants : aimants de courbure, onduleurs et aimants de focalisation.

À l'intérieur de l'anneau de stockage

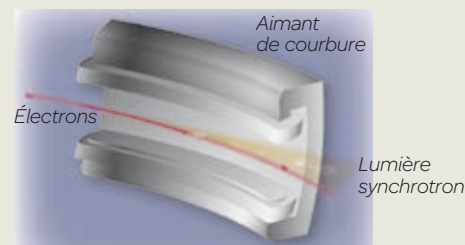
4 Aimants de courbure

Il y a 64 aimants de courbure dans l'anneau de stockage. Leur fonction principale, comme dans



le booster, est de forcer les électrons à suivre une trajectoire courbe.

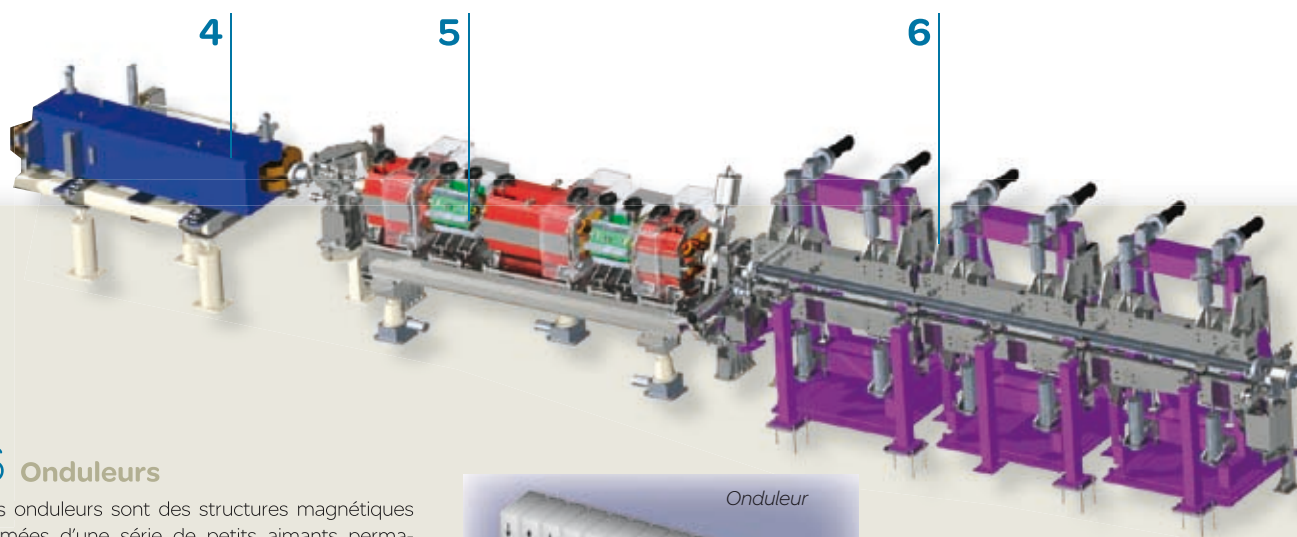
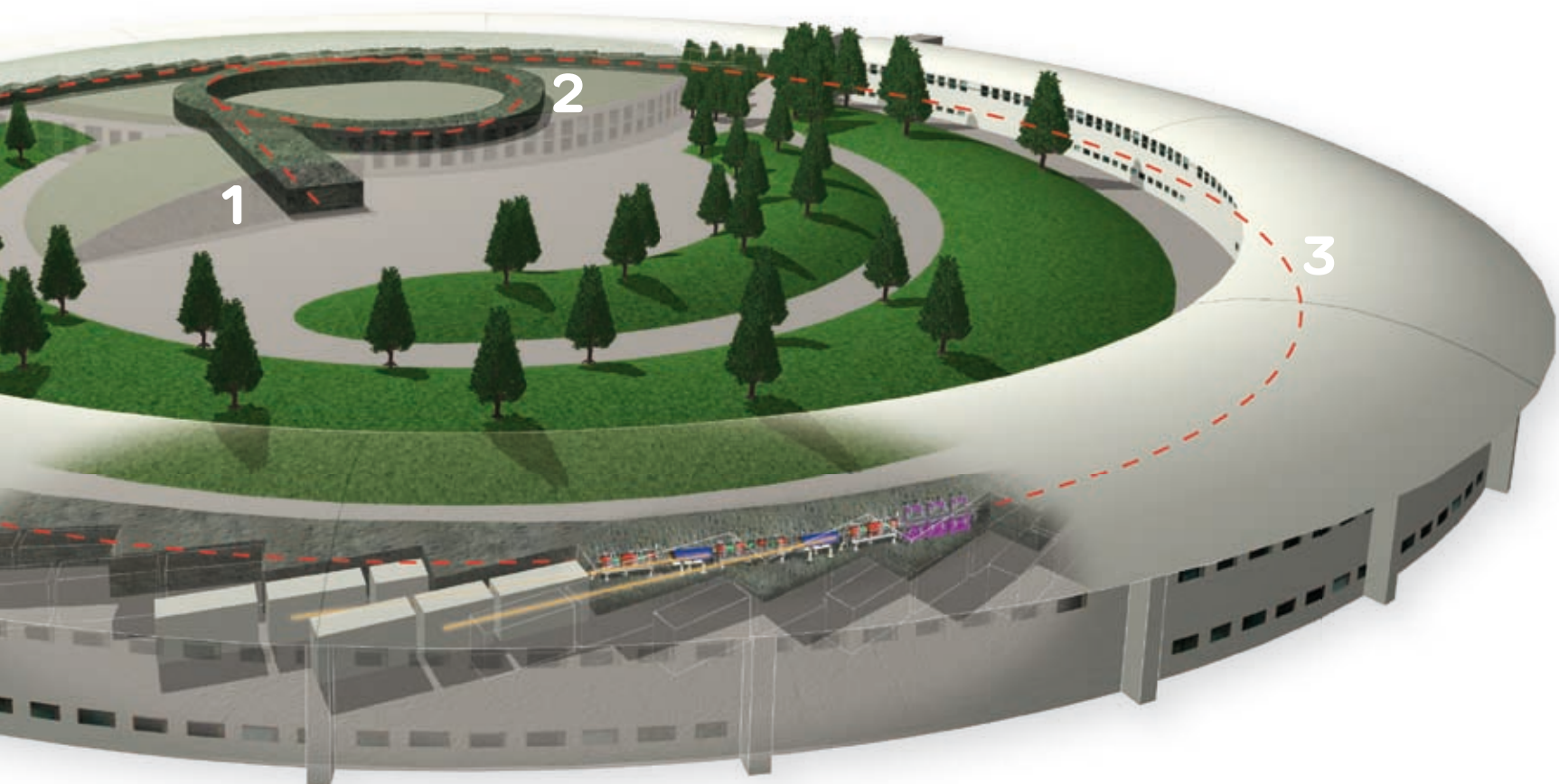
Les aimants de courbure sont aussi une source de lumière synchrotron. Selon la théorie de Maxwell, lorsque des électrons sont soumis à une accélération, ils émettent des ondes électromagnétiques. Du fait que les électrons sont ultrarelativistes (de très haute énergie) la lumière est émise tangentiellement à la courbure du faisceau d'électrons, sous forme d'un faisceau étroit et très intense. Ce faisceau est dirigé vers une "ligne de lumière" dans le hall d'expérience. La lumière émise dans un aimant de courbure couvre une large gamme de longueurs d'onde, allant des micro-ondes jusqu'aux rayons X très durs.



5 Aimants de focalisation

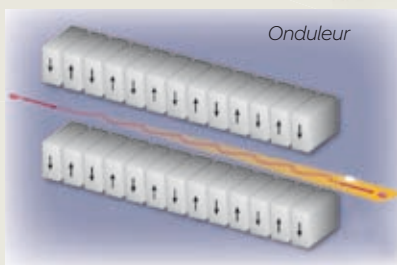
Les aimants de focalisation – également appelés lentilles magnétiques – sont utilisés pour concentrer le faisceau d'électrons afin de le rendre le plus fin possible.

?



6 Onduleurs

Les onduleurs sont des structures magnétiques formées d'une série de petits aimants permanents à polarité alternée. Ceci force les électrons à suivre une trajectoire en zig-zag. Les faisceaux de lumière émis à chaque courbure se recouvrent et interfèrent les uns avec les autres, générant ainsi un faisceau final beaucoup plus intense que le faisceau produit par un seul aimant. Il en résulte que les photons émis sont concentrés sur des

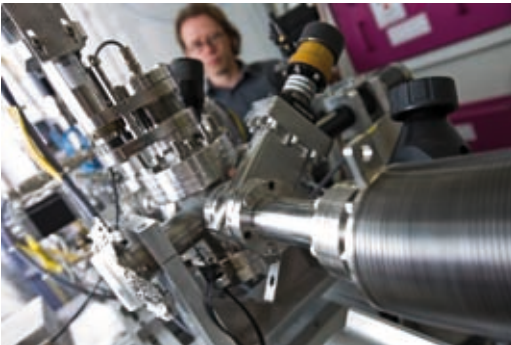


énergies spécifiques (le fondamental et les harmoniques), ce qui augmente considérablement la brillance du faisceau. En ouvrant ou en refermant l'entrefer de l'onduleur, il est possible de régler l'onduleur pour obtenir la brillance maximale à l'énergie désirée.

Aux confins de la science

Chaque année, des milliers de chercheurs du monde entier viennent à l'ESRF faire des expériences à la limite de la science et de la technologie actuelles. Il y a 42 lignes de lumière au total, toutes spécialisées et équipées des instruments les plus sophistiqués. Les fonctions principales d'une ligne de lumière sont décrites ci-dessous.

1 Optique pour rayons X



Les instruments d'optique que l'on trouve sur une ligne de lumière (fentes, filtres, monochromateurs, miroirs, etc.) conditionnent le faisceau de lumière pour une expérience particulière. Le rôle du monochromateur est de sélectionner une énergie spécifique parmi le large spectre d'énergies possibles. Cette sélection est faite en utilisant la diffraction des rayons X par des monocristaux de silicium. Ceux-ci doivent être refroidis pour éviter d'être déformés par la charge thermique de la lumière synchrotron. Un miroir est aussi un élément d'optique essentiel, qui permet de focaliser le faisceau de rayons X sur l'échantillon, à une échelle sub-micronique.

2 Autour de l'échantillon

L'espace de travail autour de l'échantillon, appelé environnement d'échantillon, peut être extrêmement complexe. La performance qui consiste à envoyer un faisceau nanométrique sur des objets nanométriques exige une précision ultime dans le positionnement de l'échantillon et dans sa visualisation. De plus en plus, des instruments annexes apportent des informations complémentaires aux rayons X : microscopes et spectromètres peuvent s'avérer très précieux. Par ailleurs, en cristallographie macromoléculaire, la robotisation pour le positionnement et le changement des échantillons biologiques permet de réduire considérablement le temps des expériences.

Anneau de stockage

10



Cabine de contrôle

et de la technique



3 Détecteurs

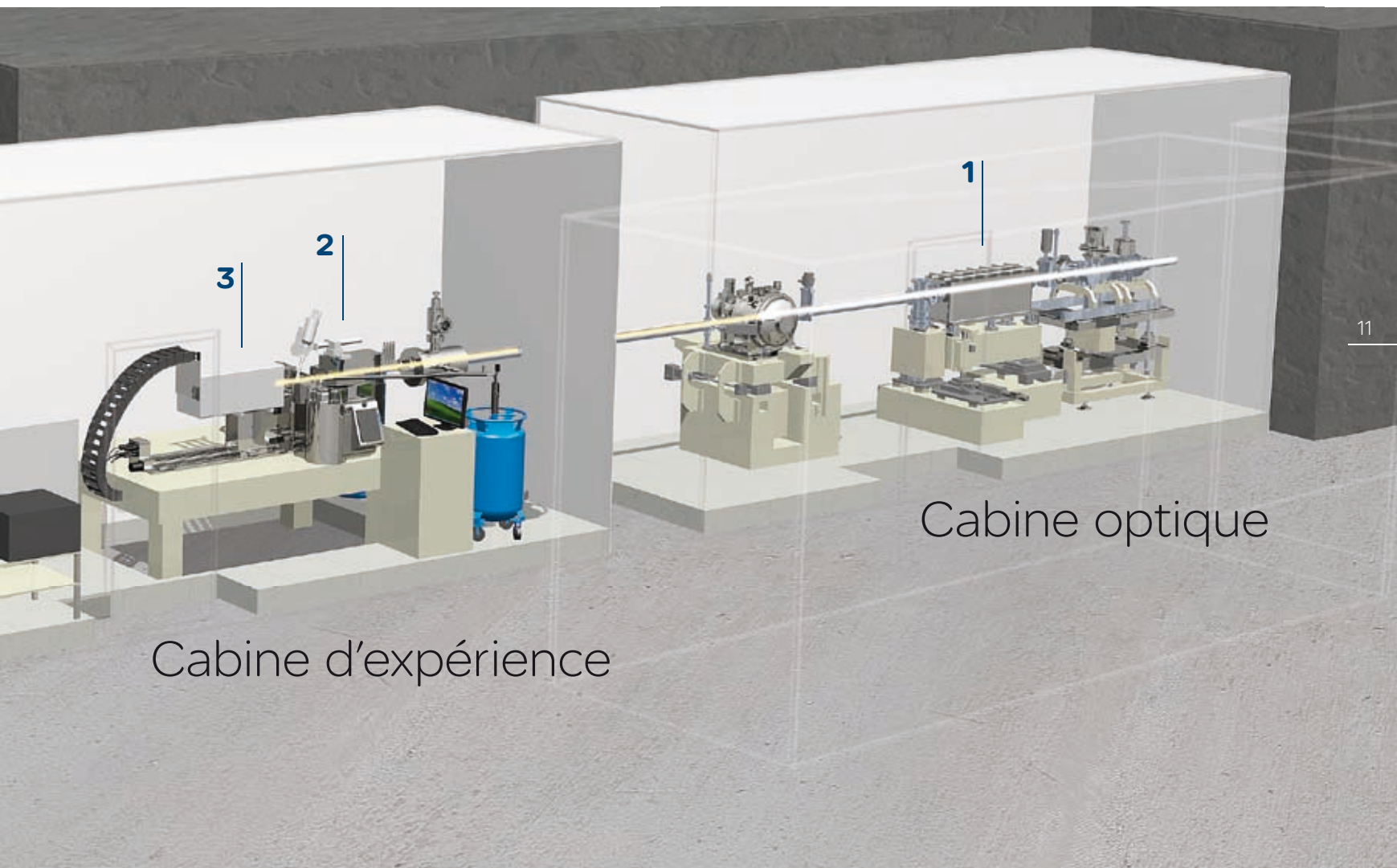
L'ESRF possède une grande variété de détecteurs, capables de répondre aux besoins d'expériences et de techniques très différentes. Les plaques images, développées au début pour l'imagerie médicale, ont été remplacées progressivement par des intensificateurs d'images, faisant usage de caméras CCD. Aujourd'hui, les détecteurs reposent en grande partie sur l'électronique pour enregistrer les données avec efficacité, résolution et vitesse. Mais tous ces critères ne se retrouvent généralement pas dans un seul détecteur. Des détecteurs spécifiques, parfaitement adaptés à un type d'expérience, fournissent les meilleurs résultats.

4 Contrôle de la ligne de lumière

Le fonctionnement d'une ligne de lumière est contrôlé par un logiciel spécifique, qui combine la fonctionnalité de chaque composant de la ligne avec la procédure globale de l'expérience qu'il faut mener à bien. Le logiciel doit également être capable de gérer un grand nombre de scénarios de façon autonome. Le contrôle à distance, par des scientifiques restant dans leur laboratoire d'origine, est aussi devenu une possibilité.

5 Analyse de données

Jusqu'à maintenant les données expérimentales étaient la plupart du temps analysées lorsque les scientifiques retournaient dans leurs laboratoires. Cependant, l'analyse en ligne se développe, car elle permet d'améliorer la qualité finale des données d'expérience, en donnant une idée des résultats en temps réel ou quasi-réel. Aujourd'hui, les données sont produites à un rythme beaucoup plus rapide et en plus grandes quantités qu'auparavant, ce qui demande une capacité informatique renforcée pour assurer l'analyse de données en ligne.



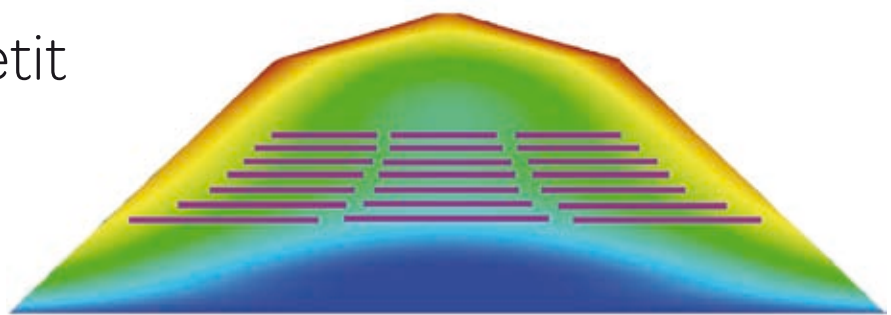
Nouveaux défis

La brillance exceptionnelle de la lumière synchrotron ouvre la voie à des projets de recherche de plus en plus pointus, avec une meilleure résolution, dans des temps plus courts et des conditions d'expériences plus complexes.

Toujours plus petit

À l'échelle du nanomètre

La science à l'échelle nanométrique permet d'apporter un nouvel éclairage sur de nombreux problèmes. Elle peut caractériser les nanoparticules dans les brouillards, poussières et fumées et explorer les phénomènes de transport d'éléments polluants. Elle peut clarifier le rôle des métaux présents sous forme de traces dans les maladies neurodégénératives et observer comment les bactéries vivant dans les milieux extrêmes adaptent leur métabolisme à des environnements très hostiles. Elle peut aussi rechercher comment des cristaux nanoscopiques, appelés îlots quantiques, se comportent dans les composants micro-électroniques lorsqu'ils sont soumis à des contraintes.



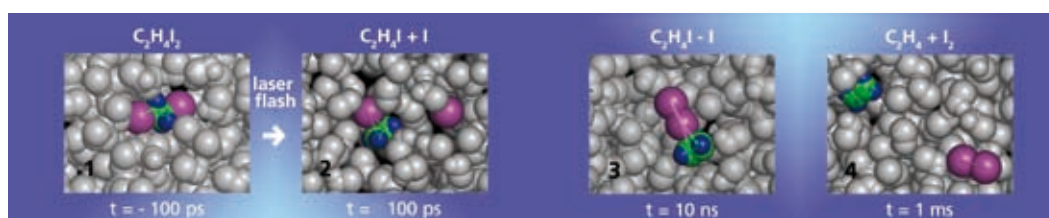
Vision en rayons X de l'intérieur d'un îlot quantique.

10 nm

Nano-faisceaux

Les nano-faisceaux sont un moyen unique de tester les propriétés électroniques et mécaniques des matériaux à l'échelle atomique. Grâce à l'imagerie en nano-faisceaux, il est possible de reconstituer en deux ou trois dimensions la densité, la composition et l'état chimique, ainsi que la structure et la perfection cristallographique d'échantillons extrêmement variés.

L'imagerie par diffraction cohérente ou par contraste de phase, qui exploite les propriétés de cohérence des faisceaux de rayons X de l'ESRF, ouvre des champs d'investigation encore inexplorés à l'échelle nanométrique.



Étude de la dissociation et de la reconstitution d'une molécule dans un solvant, à une échelle de 100 picosecondes.



Filmer des réactions

Meilleure résolution temporelle

Suivre une réaction chimique ou biologique en temps réel est un véritable défi pour les expérimentateurs. Aujourd'hui il est devenu possible d'enregistrer l'évolution de la structure au cours des différentes étapes de la réaction, et ceci avec une résolution atomique. Les temps biologiques ou chimiques intéressants allant de la seconde à la femtoseconde (10^{-15} s), il est essentiel que l'outil-sonde soit réactif

sur ces mêmes échelles de temps. Les réactions doivent également être déclenchées rapidement et de façon uniforme.

Jusqu'à la picoseconde

Les rayons X produits dans les onduleurs sont si intenses qu'un seul flash de lumière suffit à enregistrer des diagrammes de diffraction de protéines. Il est ainsi possible de filmer les mouvements de protéines avec une résolution temporelle de

100 picosecondes ($1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$). La réaction est activée par un flash laser femtoseconde (appelé "pompe") et, après un court délai, la structure de la protéine est sondée par un faisceau de rayons X. L'expérience "pompe-sonde" peut être reproduite avec des délais différents, ce qui permet de filmer la molécule en mouvement, en temps réel et en trois dimensions.

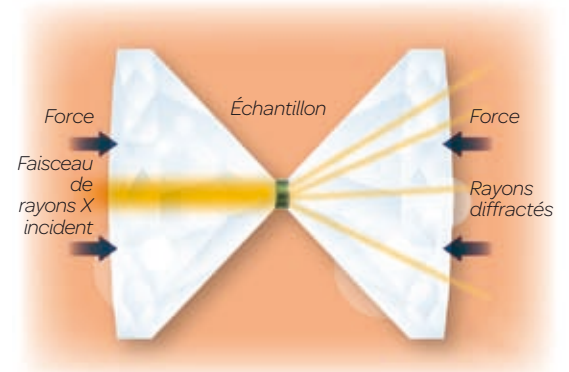
Hautes pressions

Conditions extrêmes

Des lignes de lumière de l'ESRF sont aujourd'hui équipées pour que les scientifiques puissent soumettre leurs échantillons à toutes sortes de contraintes mécaniques, champs magnétiques, réactions chimiques, températures et pressions. La pression est un paramètre important dans la connaissance fondamentale de la matière, et tout aussi primordiale pour l'étude des systèmes réels comme en géophysique ou en synthèse de nouveaux matériaux.

Cellules à enclumes de diamant

Afin d'obtenir des pressions de plusieurs millions d'atmosphères, les chercheurs ont développé la technique de la cellule à enclumes de diamant : des échantillons microscopiques (d'environ 50 micromètres de diamètre) sont placés à l'intérieur de deux pointes de diamant sur lesquelles on applique une force très élevée. La diffraction des rayons X et la spectroscopie d'absorption permettent d'explorer les changements de structure et de propriétés de la matière sous pression.



Des pressions de plusieurs millions d'atmosphères peuvent être obtenues dans une cellule à enclumes de diamant.



Visualisation de la progression d'une fissure dans un alliage d'aluminium.

Superscanner

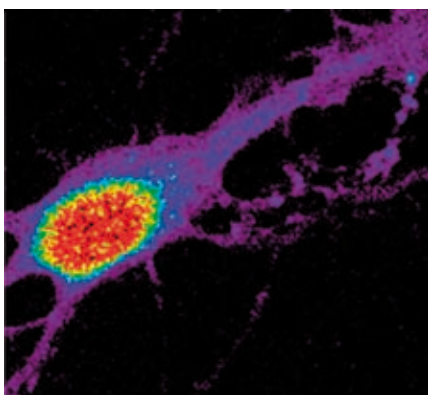
Imagerie en rayons X

Bien que connue et utilisée depuis plus de cent ans, l'imagerie en rayons X reste une technique extrêmement puissante et polyvalente. Les synchrotrons de troisième génération, avec leurs faisceaux de rayons X cohérents, offrent de nouvelles possibilités de recherche dans de très nombreux domaines :

- applications biomédicales en imagerie diagnostique mais aussi en radiothérapie ;
- sciences des matériaux, pour comprendre par exemple les défauts dans les alliages utilisés en aéronautique ;
- patrimoine culturel, où des techniques de microscopie en rayons X ont révélé la présence d'huile dans des peintures anciennes découvertes dans les grottes de Bamiyan, en Afghanistan ;
- sciences de l'environnement, avec l'investigation de grains de poussière de comète (mission Stardust) ;
- paléontologie, où l'ESRF a permis de visualiser des insectes fossiles conservés dans des morceaux d'ambre opaque d'il y a 100 millions d'années.

Voir à l'intérieur des fossiles

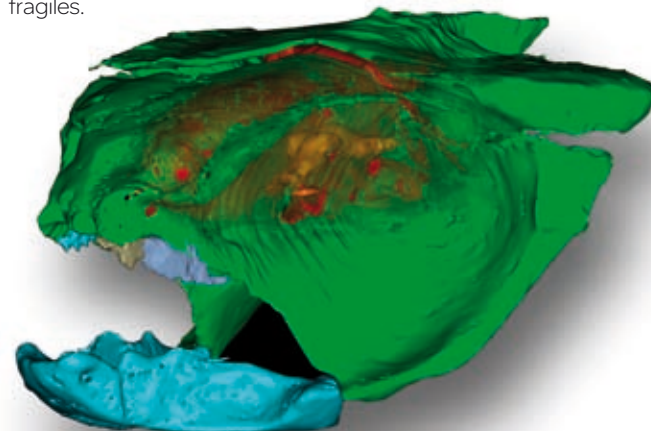
L'ESRF est leader mondial dans l'investigation non-destructive des fossiles. La lumière synchrotron non seulement fournit des données de toute première qualité, mais préserve aussi intégralement les fossiles par son approche non-invasive. Beaucoup de fossiles sont minéralisés et leur structure interne est très difficile à visualiser en simple mode d'absorption des rayons X. L'utilisation de l'imagerie par contraste de phase (utilisant la cohérence des faisceaux de rayons X à l'ESRF) rend visibles des détails infimes. Cette nouvelle technique, appelée holotomographie, permet la reconstitution haute résolution de fossiles virtuels. L'image virtuelle peut ensuite être utilisée par les paléontologues, qui n'ont plus besoin de transporter et de manipuler des spécimens fragiles.



Distribution du zinc dans un neurone, vue par fluorescence en rayons X.



Un spécimen unique : le cerveau (en orange) d'un poisson vieux de 300 millions d'années, fossilisé dans des conditions exceptionnelles.



Une vision européenne



Une collaboration réussie

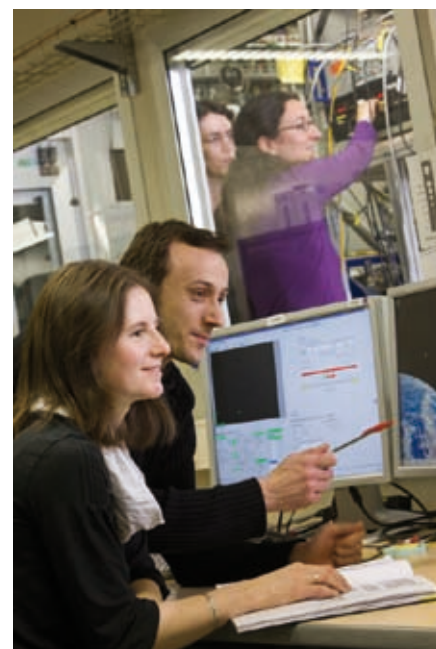
En 1988, douze pays européens ont mis leurs forces en commun pour construire le plus grand synchrotron du monde. Ce projet visionnaire a entraîné la science européenne vers les sommets. Les objectifs d'origine, en termes de performance de l'accélérateur et des lignes de lumière, ont été largement dépassés – pour ne citer que la brillance, par plusieurs ordres de grandeur.

Aujourd'hui, plus de vingt ans après, le succès de l'ESRF est éclatant. Certaines de ses lignes sont sans concurrence ailleurs dans le monde et l'instrumentation développée à l'ESRF reste un modèle pour les autres synchrotrons. Sept pays ont depuis rejoint cette collaboration européenne, et la communauté d'utilisateurs, forte de plusieurs milliers de chercheurs, ne cesse de s'agrandir.

Un personnel et des utilisateurs de classe mondiale

Au premier plan de la recherche en rayons X, l'ESRF a vu le nombre de ses publications dans les revues scientifiques augmenter année après année pour dépasser 1 500 en 2009. Le synchrotron européen, qui cultive l'excellence technique et scientifique depuis son ouverture en 1994, a lancé en 2008 un programme d'extension et de développement sans précédent pour maintenir sa position de leader pour les décennies à venir.

Le personnel de l'ESRF, issu de trente-cinq pays et de cultures et de formations variées, apporte à l'institut une richesse et une dynamique incomparables. Assurant le fonctionnement optimal des équipements tout au long de l'année, le personnel participe aussi activement au développement de techniques innovantes. Le contact avec la communauté d'utilisateurs est une source d'expertise extérieure et le perpétuel brassage d'idées est devenu l'une des forces de l'ESRF.



Budget annuel total :
Environ 90 millions d'euros

Contribution des membres
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*

Autriche	1 %
Israël	1 %
Pologne	1 %
Portugal	1 %
Centralsync (République Tchèque, Hongrie, Slovaquie)	1,05 %

* % se référant à la contribution totale
des membres.



Pour un futur radieux

L'ESRF prend également en charge la formation de jeunes scientifiques. Un grand nombre d'étudiants en thèse et de post-doctorants font leurs premiers pas comme chercheurs dans l'un des synchrotrons les plus renommés au monde. Ce flux continu de nouveaux scientifiques est essentiel pour maintenir la vitalité de la recherche européenne et assurer son avenir.

L'ESRF organise aussi des conférences, séminaires et ateliers internationaux, qui bénéficient à l'ensemble de la communauté scientifique. Bien que souvent ciblés sur un sujet précis, ces séminaires sont de plus en plus pluridisciplinaires, suivant en cela la tendance générale de la recherche scientifique aujourd'hui.

Des partenariats fructueux

Dans le même esprit, les partenariats scientifiques ont le vent en poupe. L'ESRF avec la lumière synchrotron et l'institut voisin, l'ILL, avec les neutrons, se complètent naturellement et ont mis en œuvre de multiples façons de collaborer.

Par exemple, le PSB (Partenariat pour la biologie structurale) est une collaboration entre l'ESRF, l'ILL, l'EMBL-Grenoble (Laboratoire européen de biologie moléculaire) et l'IBS (Institut de biologie structurale). Avec son voisin l'UVHCI (Interactions entre virus et cellule hôte), il offre aux biologistes une

plateforme intégrée de techniques variées de très haut de gamme, unique en Europe. À l'échelle de l'Europe, l'ESRF joue également un rôle crucial dans le développement de l'Espace européen de la recherche, en partenariat avec d'autres organisations de recherche européennes, au sein d'EIROforum.

Leader international dans son domaine, l'ESRF collabore avec des synchrotrons, des universités et des centres de recherche du monde entier, dans de nombreux domaines de développement scientifique et technique.



Le PSB, tourné vers l'avenir.



European Synchrotron Radiation Facility (ESRF)

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.eu

www.esrf.eu