

# L'ESRF, aujourd'hui et demain

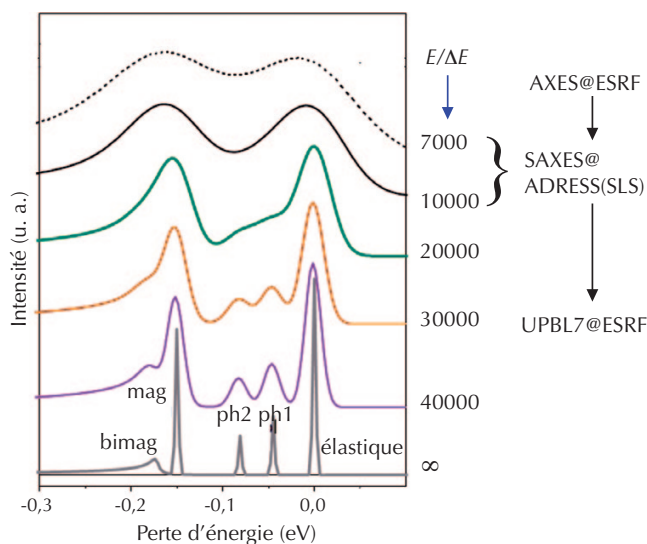
L'ESRF ("European Synchrotron Radiation Facility"), implantée à Grenoble, fut la première source de rayonnement synchrotron de troisième génération ; elle est opérationnelle depuis plus de vingt ans. Cette installation offre vingt-neuf stations expérimentales publiques et accueille des groupes de recherche collaboratifs (CRGs) des États membres, qui opèrent neuf lignes de plus sur les sources des aimants de courbure. En tant qu'équipement de service, l'ESRF reçoit jusqu'à 7000 visites d'utilisateurs par an, pour environ 1500 projets de recherche.

L'ESRF est actuellement engagé dans un programme d'amélioration ambitieux, structuré en deux phases. Dans la phase I, l'installation sera agrandie par la création de lignes de lumière plus longues et offrant plus d'espace utile, et par des laboratoires et bureaux additionnels. Le cœur de cette phase I (2009-15) consiste en la construction de quinze nouvelles lignes (se substituant à quinze lignes actuelles) et en la jouvence de quatre autres. À la fin de cette phase, en 2015, 60 % des équipements expérimentaux auront alors été renouvelés, avec des performances à la pointe mondiale en diffusion des rayons X, spectroscopie et imagerie. La figure 1 illustre ces améliorations dans le cas particulier de la diffusion inélastique de rayons X mous (RIXS), qui fait l'objet du projet UPBL7 sur la ligne ID32 de l'ESRF. Des calculs modèles pour un matériau de structure cuprate au seuil d'absorption  $L_3$  du cuivre montrent le gain attendu en pouvoir de résolution, ce qui donnera accès à des détails très fins des excitations dans les matériaux corrélés complexes.

La phase II du programme de mise à niveau (2016-19) sera centrée sur la construction d'un nouvel anneau de stockage utilisant l'infrastructure actuelle, avec une émittance horizontale fortement réduite. Il en résultera un accroissement de brillance et de cohérence d'au moins un facteur 30. Ce projet inclut aussi la construction de quatre nouvelles stations expérimentales, afin de tirer tout le bénéfice de la performance considérablement améliorée de la source et de permettre des expériences actuellement impossibles.

Les axes scientifiques du programme d'amélioration de l'ESRF concernent les domaines suivants :

- nanoscience et nanotechnologie,
- science résolue en temps,
- science en conditions extrêmes,
- matière molle et biologie structurale/fonctionnelle,
- imagerie aux rayons X.



**1. Comparaison d'un spectre RIXS, calculé au seuil d'absorption  $L_3$  du cuivre, avec des spectres expérimentaux simulés à différentes résolutions  $E/\Delta E$**  (courtoisie de L. Braicovich, Politecnico di Milano). Le spectre idéal (courbe du bas) se compose d'un pic élastique (*i.e.* sans énergie transférée) et de quatre pics signant la création de phonons (vibrations de réseau, pics ph1 et ph2) et de magnons (ondes de *spin*, pics mag et bimag). Les indications AXES à l'ESRF et SAXES à SLS (anneau de la source synchrotron suisse) montrent la résolution qui peut être atteinte aujourd'hui. Le projet UPBL7 de l'ESRF a pour objectif un pouvoir de résolution supérieur à 30 000.

Le programme de mise à niveau est donc focalisé sur l'obtention de faisceaux de rayons X de plus haute brillance, de plus grande stabilité et de plus petite taille, jusqu'à l'échelle nanométrique. Il fournira des outils pour l'étude de la matière et de ses propriétés dynamiques sur une gamme spatiale s'étendant des dimensions atomiques jusqu'à celles de la vie courante. En 2014, les lignes de lumière de l'ESRF fourniront des faisceaux de diamètre allant de 10 nm (aujourd'hui quelques centaines de nanomètres) à 100 mm, couvrant donc sept ordres de grandeur.



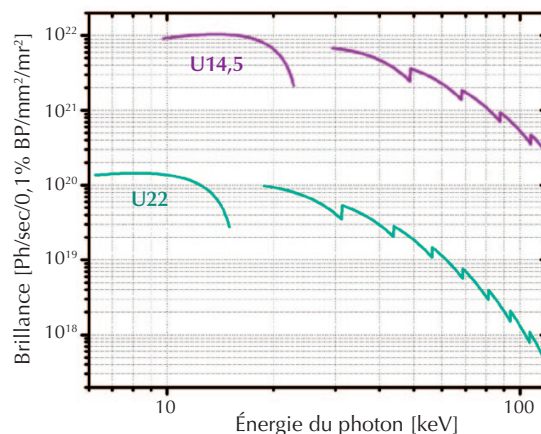
L'ESRF (European Synchrotron Radiation Facility), à Grenoble. En arrière-plan, le réacteur à haut flux de l'Institut Laue-Langevin.

En tant que seule installation internationale (européenne) de rayonnement synchrotron (RS), l'ESRF continuera de fournir un service unique de par :

- sa fonction de plate-forme pour le développement de la technologie RS ;
- son service auprès des communautés d'utilisateurs trop petites ou trop spécialisées pour héberger un laboratoire de recherche national ;
- sa stratégie pour développer et favoriser de nouvelles communautés d'utilisateurs.

Les installations de rayonnement synchrotron constituent des outils très versatiles pour nombre de domaines de la science et de la technologie. Les performances des sources sur anneaux de stockage se sont améliorées d'une manière presque explosive et n'ont pas encore atteint leurs limites. Le paramètre le plus important de la source, sa brillance, s'est amélioré d'environ huit ordres de grandeur, et ceci en moins de quatre décennies (voir figure page 11). La phase II du programme de mise à jour, qui permettra dès 2020 un gain supplémentaire de deux ordres de grandeur, est la preuve tangible de la poursuite de ce développement. La clé pour obtenir ce gain en performance est la substitution d'une structure magnétique radicalement nouvelle – dans le tunnel actuel et sans changer les sorties de RS – réduisant l'émission horizontale actuelle de 4 nm.rad par un facteur 40. La figure 2 montre l'amélioration de la performance de ce nouvel anneau de stockage, particulièrement dans la gamme des hautes énergies.

Ce bond majeur en performance de la source sera complété par un important programme de développement de l'instrumentation, portant sur la totalité des composantes expérimentales : optique des rayons X, environnement des échantillons, détection et traitement, stockage et analyse des données. Un facteur clé pour tirer tout le bénéfice de l'amélioration résultant de la qualité et de l'intensité du faisceau de rayonnement synchrotron est certainement la mise en œuvre d'approches innovantes de préparation et de manipulation d'échantillons, de taille actuelle déjà nettement sous-micrométrique.



2. Comparaison de la brillance de l'onduleur U22 actuel de l'ESRF (courbe turquoise), avec celle de l'onduleur U14,5 du nouvel anneau proposé à émission horizontale réduite (courbe violette). Ce dernier (CPMU, "cryogenic permanent magnet undulator") a une période plus petite (14,5 mm au lieu de 22 mm pour U22) et un *gap* plus faible (4 mm), les autres paramètres étant identiques à ceux de U22. (Courtoisie de J. Chavanne, ESRF).

Un domaine dans lequel les sources de rayonnement synchrotron sont particulièrement peu performantes est celui de la cohérence horizontale du faisceau. Le degré de cohérence est au mieux de l'ordre de quelques pour mille pour des énergies inférieures à 8 keV, et décroît rapidement au-delà. La fraction cohérente du faisceau X devrait croître linéairement avec la brillance jusqu'à devenir proche de la limite de diffraction, avec un gain attendu plus fort aux hautes énergies de rayons X. L'exploitation de la cohérence offre de nouvelles possibilités enthousiasmantes, en raison du fait que la diffusion cohérente porte des informations sur les micro et nano-structures à des échelles inférieures à la taille du faisceau sonde, et cela sans moyenner sur le volume de l'échantillon. ■

**Harald Reichert** (reichert@esrf.fr),  
Directeur de recherche pour les sciences physiques à l'ESRF