

N°22

LE RAYON DE SOLEIL

LE JOURNAL DU SYNCHROTRON

2012, 10 ans
avec **SOLEIL**

04 LA RECHERCHE
À SOLEIL
Les axes stratégiques

12 RÉTROSPECTIVE
10 ans de
bâtiments de SOLEIL

14 POINT FORT
Les accélérateurs
de SOLEIL

SOLEIL
SYNCHROTRON



04

04**ORIENTATION**

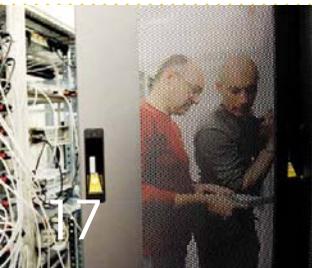
Les axes stratégiques de SOLEIL



14

06**RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT**

Des lignes de lumière sur mesure



17

14**POINT FORT**Accélérateurs de SOLEIL
Spécificités et aspects innovants**17****ZOOM SUR**

L'informatique et l'électronique à SOLEIL



26

26**PORTRAIT D'EXPERT**

Hélène Rozelot

27**INDUSTRIE**

Les Relations Industrielles et la Valorisation à SOLEIL



28

**Pour vous abonner**au Rayon de SOLEIL
rendez-vous sur
www.synchrotron-soleil.fr

l'édito

**Jean Daillant
Directeur Général**

Le 6 novembre 2002, SOLEIL obtenait de la mairie de Saint-Aubin le permis de construire le synchrotron sur le site de l'Orme des Merisiers. Nous pouvons mesurer aujourd'hui le chemin parcouru. En 10 ans, les équipes de SOLEIL sont parvenues à imaginer, construire et déployer un des meilleurs synchrotrons au monde. A la fois soucieux d'excellence scientifique et décidés à partager nos savoir-faire, nous avons fait des choix ambitieux qui démontrent aujourd'hui leur pertinence : les sources et accélérateurs de SOLEIL sont donnés en exemple ; plus de 4000 utilisateurs différents, français et du monde entier, ont déjà utilisé SOLEIL ; un foisonnement de résultats qui n'auraient pu être imaginés il y a 10 ans ont été obtenus, et nous avons développé des partenariats régionaux, nationaux et internationaux de grande envergure. Nous sommes également devenus un centre de culture scientifique et technique ouvert à tous les publics. Soutenus à chaque étape par nos actionnaires du CNRS et du CEA et nos partenaires territoriaux (Région Ile de France, Département de l'Essonne et Région Centre), nous pouvons nous consacrer à notre mission première : offrir aux communautés scientifiques les meilleurs outils expérimentaux et d'analyse et accompagner toutes les disciplines pour qu'elles bénéficient de ces atouts. Les 10 années qui s'annoncent seront tout aussi excitantes : les premières lignes de lumière sont arrivées à maturité et commencent à exprimer encore plus pleinement leur potentiel à travers de nouveaux développements, alors même que les nouvelles lignes vont offrir des possibilités inenvisageables il y a 10 ans. L'enjeu est maintenant d'en maximiser l'impact pour l'ensemble de nos communautés scientifiques et partenaires industriels.



AU PROGRAMME

Les lignes de lumière de SOLEIL

LE PROGRAMME EXPÉRIMENTAL DE SOLEIL PRÉVOIT LA MISE À DISPOSITION

de 29 lignes de lumière. Les plus récemment incluses dans ce programme sont la ligne longue ANATOMIX (précédemment nommée Nanotomographie), qui enrichira l'offre instrumentale en imagerie nanométrique en particulier pour les domaines Biomédical et Matériaux Avancés ; PUMA, dédiée à l'étude des matériaux anciens dans le cadre de la plateforme

IPANEMA* ; et ROCK, articulée autour des problématiques liées à l'énergie. ROCK et ANATOMIX sont développées en partie dans le cadre des programmes Equipex.

En cette fin d'année 2012, 21 des 29 lignes sont ouvertes aux utilisateurs, et 3 supplémentaires (PROXIMA2, PSICHE et SIRIUS) pourront les accueillir en 2013.

*Institut Photonique d'Analyse Non-destructive Européen des Matériaux Anciens, première plateforme de recherche en Europe dédiée à l'étude des matériaux anciens.

EN BREF

➤ A RETENIR

En 2012, SOLEIL ce sont près de 400 personnes qui travaillent chaque jour sur le site, accueillent 3000 utilisateurs venus mener leurs recherches sur les lignes. Ils croisent 5000 visiteurs curieux de découvrir le synchrotron. Le tout avec un budget de fonctionnement annuel de 60 millions d'euros.

MODALITÉS D'ACCÈS

L'accueil des utilisateurs

LES LIGNES DE LUMIÈRE DE SOLEIL SONT ACCESSIBLES AUX UTILISATEURS EXTERNES

environ 230 jours par an, soit un volume annuel de l'ordre de 690 sessions de 8 heures par ligne, avec jusqu'à 10 % destinés aux projets industriels. Ces utilisateurs, issus des laboratoires de recherche publics, des entreprises, des hôpitaux, des musées..., disposent de 3 modalités d'accès. Une modalité « classique », par évaluation semestrielle

(février et septembre) des projets par 6 Comités scientifiques internationaux et indépendants de SOLEIL, donnant un accès gratuit à SOLEIL avec obligation de publier les résultats. Une modalité « à la carte », sans sélection préalable, pour des prestations facturées et des résultats confidentiels. Enfin une modalité « sur mesure » pour une recherche partenariale menée entre les équipes de SOLEIL et des équipes externes, publiques et/ou privées.

➤ LA WEBTÉLÉ DE SOLEIL

En 2010, SOLEIL crée une plateforme sur Dailymotion. 50 vidéos y sont désormais accessibles, générant plus de 41 000 vues de nouveaux programmes sont en développement, incluant la réalité augmentée. Des comptes SOLEIL Twitter, Facebook et LinkedIn ont été ouverts en 2012. Depuis, le nombre de visites hebdomadaires sur le site web de SOLEIL via les réseaux sociaux a été multiplié par 10.



2002

6 Novembre : délivrance du permis de construire SOLEIL par la mairie de Saint Aubin



2006

18 Décembre : inauguration de SOLEIL par M. le Président de la République Jacques Chirac



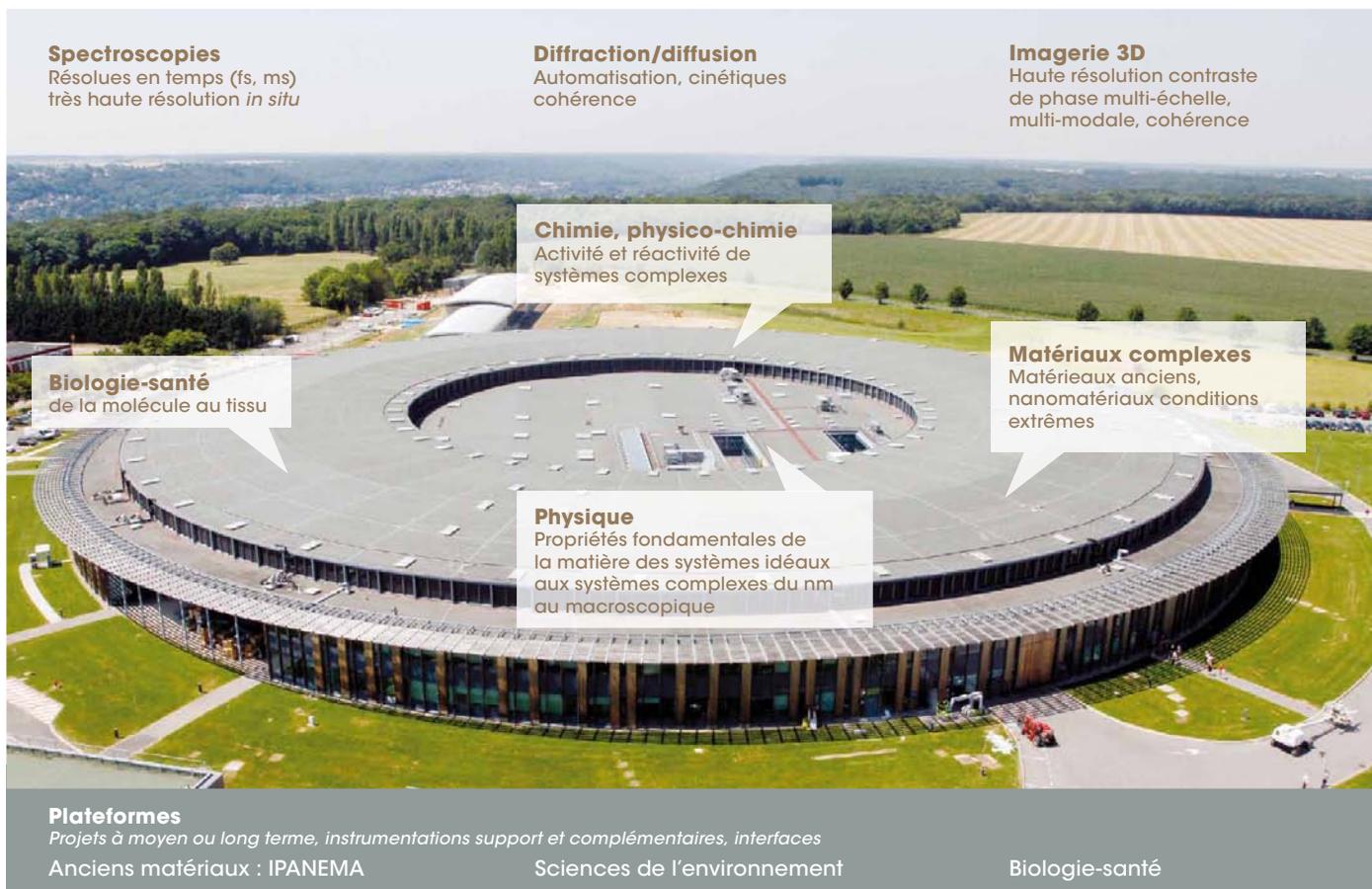
2008

Janvier : ouverture de SOLEIL aux utilisateurs

ORIENTATION

Les axes stratégiques de SOLEIL

SOLEIL concentre ses efforts et ses performances sur quatre axes stratégiques : la chimie et la physico-chimie, la biologie-santé, les matériaux complexes et les matériaux anciens, et enfin la physique.



Les spécificités des 26 lignes de lumière de SOLEIL en exploitation en 2013, enrichies de 3 nouvelles lignes en 2015 et de l'expertise des scientifiques qui les servent, sont en cohérence avec ses axes stratégiques. La chimie et la physico-chimie se concentrent sur l'étude des propriétés de systèmes modèles et complexes. La biologie-santé va de l'étude de la molécule isolée à celle des cellules et des tissus. Le domaine des matériaux

complexes et des matériaux anciens étudie leurs structures depuis l'échelle nanométrique jusqu'à leurs propriétés en conditions extrêmes, et la physique se penche sur les propriétés fondamentales de la matière, visant à faire le lien entre les systèmes isolés et placés dans un environnement complexe.

Chimie

Pour ce qui concerne la chimie et la physico-chimie, la spécificité du rayonnement synchrotron est de

fournir une large gamme spectrale du faisceau X parfaitement adaptée à l'identification, la quantification et la spéciation des éléments chimiques quelle que soit l'organisation structurale et moléculaire de l'échantillon dans lequel ils sont présents : un liquide, un gel, un solide. S'appuyant sur les développements technologiques en termes de possibilités de focalisation du faisceau X, de sélectivité de sa longueur d'onde et de détection, des caractérisations cartographiques à l'échelle micromé-

trique en conditions natives comme les études dynamiques à l'échelle de la milliseconde des transitions élémentaires sont accessibles. Concrètement, elles peuvent porter, par exemple, sur la caractérisation des phénomènes de nucléation-croissance, sur l'étude de catalyseur en cours de réaction, sur l'étude de l'organisation, des structures et de la réactivité des interfaces molles et des auto-assemblages.

Biologie-santé

Pour le vaste domaine de la biologie-santé, toute la gamme de rayonnement fournie par SOLEIL, depuis l'infrarouge jusqu'aux X-durs, est exploitée pour des analyses multi-modales et multi-échelles du Vivant. Les lignes de lumière ont été conçues pour permettre l'étude des macromolécules isolées à l'échelle atomique jusqu'aux imageries quantitatives bi-et tri-dimensionnelles de cellules et de tissus à des résolutions spatiales allant jusqu'à quelques dizaines de nanomètres. Les méthodes mises en œuvre incluent la diffraction et la diffusion des RX, la spectromicroscopie IR et VUV, l'absorption et la fluorescence X, et l'utilisation de la cohérence du rayonnement X pour des imageries tomographiques en condition non-destructives et à très haute résolution. En offrant des méthodes uniques au rayonnement synchrotron et des instrumentations aux limites des technologies accessibles aujourd'hui, les huit lignes de lumière concernées apportent des informations morphologiques et fonctionnelles qui relèvent précisément d'une vision intégrative de la biologie et de ses applications en pharmacologie et biomédecine.

Physique

En physique fondamentale, l'accent est mis sur la très haute résolution spectrale ou angulaire permettant ainsi d'offrir aux utilisateurs des outils inégalés de caractérisation, tant en spectros-



copie qu'en analyse structurale par diffraction. La gamme spectrale offerte démarre dans l'IR lointain (voire dans le THz, c'est-à-dire quelques cm^{-1}) jusqu'aux rayons X durs. Les analyseurs et spectromètres mis en jeu se positionnent au premier plan de la limite technologique actuelle, avec des environnements d'échantillon complexes qui permettent d'établir un continuum entre un système isolé parfaitement caractérisé et le même système placé dans des conditions « réelles » (haute pression, matrices, nanoparticules, aérosols etc...). Il en va de même pour les études réalisées à des échelles latérales réduites (à l'aide de microscopes ou de nanofaisceaux), qui permettent ou permettront de faire le lien entre les propriétés de la matière à l'échelle locale et les propriétés des échantillons à l'échelle macroscopique (approche mésoscopique). Un effort particulier est fait à SOLEIL pour promouvoir les études résolues en temps par le biais d'expériences de type pompe-sonde couplant laser et

rayonnement synchrotron à l'échelle de quelques ps, voire fs.

Matériaux

Enfin, dans le domaine des matériaux, on vise à caractériser les matériaux avancés afin de mieux contrôler leur fonctionnalisation ou leur comportement dans des situations extrêmes (contraintes, pression, température, radioactivité etc...). À cette fin des efforts particuliers ont été faits pour enrichir la panoplie des conditions d'observation, avec souvent la combinaison de plusieurs techniques expérimentales nécessitant l'utilisation de plusieurs lignes de lumière pour un même projet. Pour ce qui concerne les matériaux du Patrimoine, une approche originale est en cours de développement, avec la construction d'une plateforme (IPANEMA) adossée au synchrotron permettant l'accueil et l'optimisation de projets sur une longue durée.

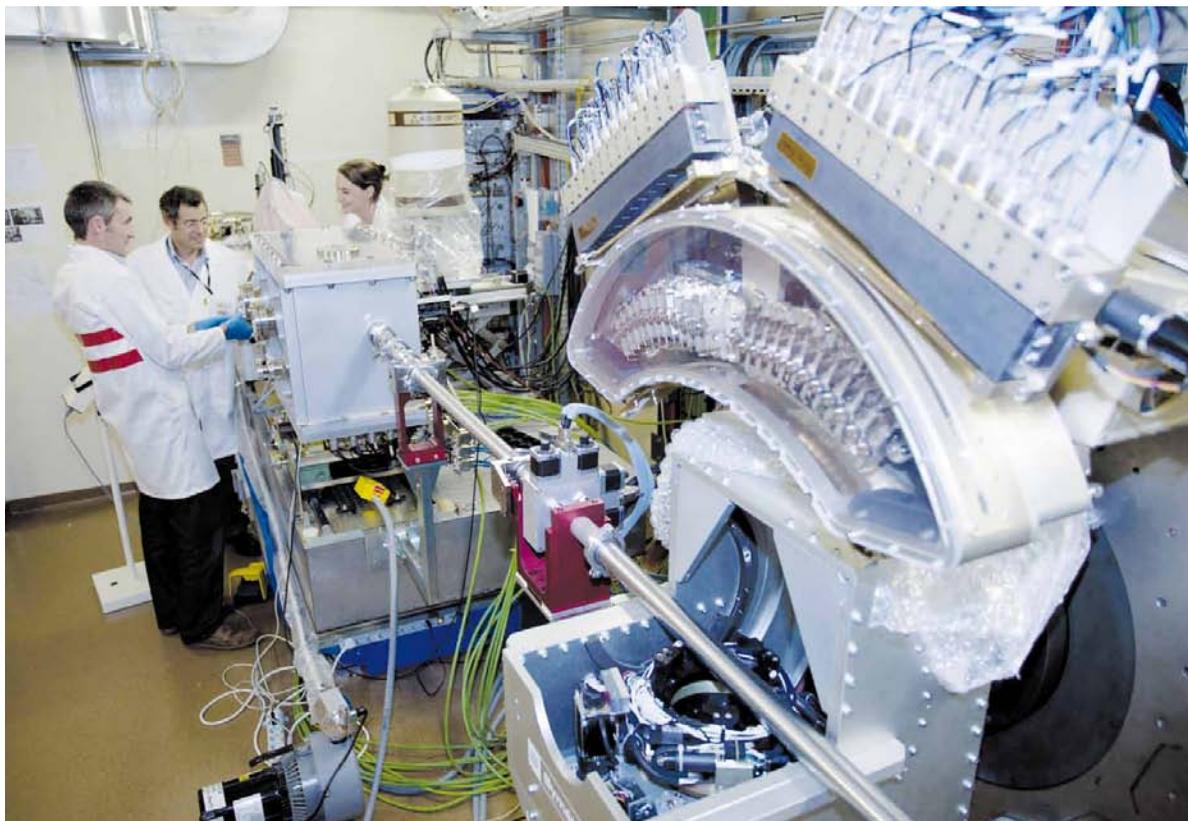
→ **Contacts :**
samama@synchrotron-soleil.fr ;
morin@synchrotron-soleil.fr

Paul Morin
(à gauche)
et Jean-Pierre
Samama,
directeurs
scientifiques
de SOLEIL.

RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

Des lignes de lumière sur mesure

SOLEIL, ce sont 29 lignes de lumière prévues pour 2015, dont 26 fonctionnent déjà actuellement. Pour pouvoir mener les recherches attendues par les chercheurs qui ont conçu et dirigent ces lignes, ainsi que les communautés scientifiques qui demandent à les utiliser, toutes les équipes de SOLEIL sont mobilisées. Elles adaptent ou mettent au point les équipements permettant de maintenir au meilleur niveau international les résultats scientifiques obtenus à SOLEIL. Du travail « sur mesure » pour des problématiques spécifiques à chaque ligne de lumière.



Dans la cabane expérimentale de la ligne MARS, dont on voit le diffractomètre au premier plan.

Au commencement était le bâtiment

La partie machine - accélérateurs et anneau de stockage - et les lignes de lumière de SOLEIL ont été construites sur une dalle de béton de 80 cm d'épaisseur, disposée sur 600 pieux en béton ancrés à 15 mètres de profondeur. Elles se trouvent donc comme « sur pilotis », sur une structure indépendante du reste du bâtiment, afin de minimiser l'impact sur la trajectoire des faisceaux d'électrons des vibrations produites autour du site (véhicules sur les routes voisines, par exemple), et d'éviter tout tassement lié à la présence d'argiles gonflants dans le sol.

Ces dispositions déjà contraignantes, car répondant à de strictes spécificités de stabilité, sont loin d'être suffisantes pour Nanoscopium. Cette ligne de lumière longue de 155 mètres (cf Rayon de SOLEIL n°21, p9) nécessite des contraintes 30 fois plus élevées, notamment pour ce qui est des déformations de la structure en rotation. Imaginez que vous deviez transpercer avec une flèche une pomme posée devant la Tour Eiffel, en visant depuis... Athènes. C'est équivalent à ce que l'on attend, en termes de précision, du faisceau de rayons X entre sa sortie du mur de l'anneau de stockage et un échantillon placé dans la cabane expérimentale de Nanoscopium. Les effets

liés au vent ou à la température - susceptibles d'engendrer des déformations bien supérieures aux critères de stabilité imposés - sont des paramètres classiquement pris en compte en architecture. Mais lorsqu'il faut raisonner pour des vibrations à de telles échelles de précision, cela devient beaucoup plus inhabituel. L'originalité du projet réside dans l'approche utilisée, plus que dans les moyens mis en œuvre. Dès 2008, les plans indiquent au millimètre près en quels points de la ligne la stabilité doit être maximale. Ensuite, les performances sont apportées par la géométrie et l'épaisseur de différentes dalles de béton, indépendantes et adaptées à



Dans la cabine optique de DEIMOS, mise en place d'un miroir.

chacun de ces points « stratégiques », sur lesquelles repose la ligne. Devant un tel challenge, il a fallu prendre des risques et se lancer, car il n'existe pas de précédent sur lequel se baser. Pari réussi : des tests réalisés fin octobre ont montré que les cabanes de Nanoscopium seront stables aux spécifications attendues.

Des éléments d'insertion à la carte

À SOLEIL, 21 lignes fonctionnent sur éléments d'insertion, parfois avec deux onduleurs différents. Or, il n'y en a pas deux identiques ou presque, et certains d'entre eux ont été entièrement conçus à SOLEIL de façon à répondre exactement aux attentes des chercheurs (voir encadré). Mais cette volonté de travailler à la carte n'empêche pas une vision d'ensemble : parmi les éléments composant les onduleurs, certains sont présents dans plusieurs types différents, tels des briques élémentaires. Une stratégie du « double emploi » illustrée aussi par le fait que le wiggler modulateur, servant à créer des paquets d'électrons ultra-courts pour les expériences de slicing réalisées sur les lignes CRISTAL et

TEMPO, est également utilisé comme source de lumière de la ligne PUMA (cf Rayon de SOLEIL n°20, p. 11) : un wiggler deux-en-un, en quelque sorte.

Plus classique, mais toujours dans un esprit d'optimisation de la machine, des onduleurs cantés permettent d'installer deux lignes de lumière sur une même section droite de l'anneau, pour les deux parties de la ligne PROXIMA2 et les lignes Nanoscopium/NTOMO. Et, de manière générale, c'est tout le réglage optique de l'anneau qui est pensé pour satisfaire les utilisateurs des lignes en termes de dimensions du faisceau d'électrons aux points source, en garantissant d'excellentes performances de fonctionnement de la machine (durée de vie du faisceau notamment).

Autre aspect très apprécié : après les périodes de maintenance, un week-end de faisceau suffit pour retrouver un vide compatible avec les conditions de réalisation des expériences ; les utilisateurs ne sont donc pas pénalisés. Cet avantage est dû au choix de recouvrir les parois des chambres à vide par dépôts NEG₁ sur 60 % de l'anneau. Cela rend le conditionnement de l'anneau beaucoup plus court en

phase de démarrage de la machine : gain de temps d'un facteur deux environ.

Une optique... de pointe

Avec des lignes dont les performances attendues sont aux limites de la technologie actuelle, il faut forcément innover. Sur Nanoscopium, une optique fiable signifie que, sur la zone active, d'une centaine de millimètres de longueur et un mm de largeur, à la surface des miroirs, la déviation de hauteur acceptable est inférieure à 1 nm. Polir « du premier coup » un miroir à une telle précision n'est pas faisable, et ce sont des retouches locales qui permettent dans un second temps de ramener aux spécifications drastiques choisies une surface obtenue de façon « classique ». À ces retouches doit être corrélée une étape de nanométrie, car il faut vérifier que les spécifications demandées ont bien été respectées. Or, à cette échelle de dimension, les instruments de mesure manquent !

C'est pourquoi depuis 2010 le groupe Optique de SOLEIL met au point en collaboration avec deux entreprises locales, EOTECH et MB Optique, un microscope interférentiel qui permettra de contrôler ces miroirs d'ultra haute précision mais aussi d'autres éléments optiques de SOLEIL. Du fait de sa résolution cet instrument a un champ d'observation réduit. Pour mesurer une surface optique on la déplace pas à pas sous l'instrument. Un grand nombre de jeux de données est ainsi collecté. Ils doivent être raccordés, après soustraction de la référence interne de l'interféromètre, pour obtenir une topographie de la surface optique ; on parle de « stitching interferometry ». Une difficulté vient de ce que la référence n'est pas connue de façon absolue. La solution en cours de développement se base sur le fait qu'un même point de la surface est mesuré plusieurs fois, chaque mesure mettant en jeu un point différent de la référence. Grâce à la résolution et la stabilité de l'instrument et à la redondance des mesures la surface testée et la référence sont toutes deux reconstruites.

Le microscope et les algorithmes de stitching, pour lesquels des synchrotrons et des fabricants d'optiques ont manifesté leur intérêt, sont actuellement en cours de validation sur des surfaces tests. Les logiciels sont développés pour fonctionner de façon modulaire, il sera par exemple possible

- **Nanoscopium** : premier onduleur sous vide cryogénique (à 77K) avec aimants PrFeB.
- **DEIMOS** : onduleur sous vide issu de la combinaison originale de deux concepts préexistants - couplage aimants permanents et électroaimants / bobines à plaques de cuivre - pour changer la direction de polarisation (hélicoïdale droite / gauche) du faisceau de RX avec une fréquence de 5 Hz.
- **SIRIUS** : onduleur Apple II de très courte période permettant d'avoir des rayons X de haute énergie avec une polarisation linéaire.



Discussion au sein du groupe « Conception et Ingénierie ».

d'en substituer certaines parties par du software préexistant à SOLEIL : on retrouve, comme pour les Sources, la volonté de valoriser notre existant. Les lignes de SOLEIL vont bénéficier d'un autre développement du Groupe Optique, les réseaux multicouches alternés (MCA). Dans des conditions particulières d'incidence du faisceau, les MCA ont à la fois les avantages d'un réseau multicouche et d'un cristal : comme ce dernier ils permettent de privilégier un ordre de diffraction du faisceau incident (pour cela son énergie doit être supérieure à 1000 eV), et ils ont un « comportement multicouche » en donnant un fort gain de réflectivité.

La préparation de ces réseaux, assez complexe, est une collaboration entre la société Horiba Jobin-Yvon et SOLEIL et l'Institut d'optique. Jobin-Yvon fournit le « substrat réseau » (base de Si) gravé selon la période et la profondeur cibles demandées. Puis à SOLEIL on caractérise la gravure avec l'AFM. Ces paramètres étant connus, on optimise, par simulation numérique, l'efficacité de diffraction pour définir le multicouche optimal. On procède alors, à l'Institut d'Optique, au dépôt des multicouches ($\text{Mo}_2\text{CB}_4\text{C}$, MoB_4C ou CrB_4C) avec les épaisseurs calculées. Un dernier contrôle a lieu sur la ligne de métrologie à la longueur d'onde d'utilisation.

Le MCA de DEIMOS va bientôt être monté sur la ligne, puis suivront SI-RIUS et HERMES.

Positionner l'échantillon

Le positionnement de l'échantillon sous le faisceau de photons répond lui aussi à de très fortes exigences. Qu'il s'agisse de faire varier l'angle d'incidence des rayons X pour les mesures de nanoARPES d'ANTARES (cf Rayon de SOLEIL n°21, p. 4), de déplacer l'échantillon sous le faisceau des RX d'HERMES pour en reconstituer des images 2D chimiques par microscopie STXM, ou de faire tourner cet échantillon pour obtenir des images 3D par tomographie sur la ligne ANATOMIX, dans tous les cas les résolutions sont de l'ordre de quelques dizaines de nm. A ces échelles aucune mécanique n'est parfaite. Les défauts périodiques d'un guidage utilisant des billes ou des rouleaux sont évités en remplaçant ces mouvements de rotation par des systèmes basés sur la déformation de pièces, les flexeurs, qui permettent de réaliser des déplacements précis à l'échelle nanométrique. Les zones à analyser pouvant atteindre plusieurs millimètres, les dispositifs employés sont constitués d'un « double étage » : le premier, entièrement conçu par le Groupe Conception et Ingénierie de SOLEIL, permet de se déplacer sur l'échantillon où chaque zone est ensuite balayée finement grâce au second étage (courses totales de 50 microns pour ANTARES), disponible dans le commerce. On obtient ainsi une mosaïque des zones consécutivement analysées.

Comme pour les bâtiments, évoqués

plus haut, la sensibilité aux vibrations transmises et à la chaleur sont à prendre en compte. Pour limiter les variations en température, les matériaux choisis ont de faibles coefficients de dilatation, les moteurs sont piézo-électriques et ne chauffent donc pas du tout à l'arrêt, et des astuces de montage, jouant sur les directions dans lesquelles a lieu la dilatation, en neutralisent les effets. La difficulté augmente encore dans le cas d'instruments sous vide (HERMES) car la chaleur se dissipe moins.

La dimension temporelle est également à prendre en compte : sur Nanoscopium, les positions relatives des éléments optiques (miroirs, fentes) produisant une source secondaire de RX doivent être stables au micron pendant 8 heures, pour obtenir un nanofaisceau stable sur l'échantillon qui se situe 70 mètres plus loin. Pour le mesurer, une sorte de « niveau d'eau » électronique est installée depuis les moniteurs de faisceau dans l'anneau jusqu'au marbre où sera placé l'échantillon, à plus de 150 mètres de distance. Ce dispositif (HLS, Hydrostatic Leveling System), a été optimisé par le groupe Alignement et Métrologie de SOLEIL, à partir d'un instrument commercial.

Puis, au cours de l'analyse de l'échantillon, les nanodéplacements doivent être suivis et contrôlés. Là encore, il existe deux niveaux de mesure : pour une résolution de quelques dizaines de nm des modèles commerciaux de règles optiques suffisent. Pour une plus grande précision, des interféromètres spécifiques sont développés à SOLEIL. Celui d'ANTARES est en fonctionnement, celui d'HERMES est en train d'être défini. Les informations (analyse de franges d'interférence créées entre un faisceau lumineux de référence et un faisceau de mesure) permettent de corriger les éventuels défauts de la mécanique qui faussent les déplacements.

Détecter le signal...

Les sources de 3^e génération comme SOLEIL permettent la réalisation d'expériences nécessitant des prises de mesures résolues à la fois finement dans l'espace et dans le temps, tout en conservant une grande dynamique d'information. Afin de disposer de détecteurs à la hauteur des performances de sa machine, SOLEIL a collaboré avec le Centre de physique des particules de Marseille (CPPM) et la ligne de lumière CRG-D2AM de l'ESRF pour

développer une nouvelle génération de détecteurs 2D dits à pixels hybrides (cf Rayon de SOLEIL n°21, p. 20). Adaptés aux caractéristiques de ses lignes X durs, ils sont constitués d'un capteur dont la face arrière est pixélisée, chaque pixel étant couplé à une électronique de comptage réalisée dans un circuit dédié. Comme des détecteurs basés sur des caméras CCD, ces « XPAD3 » mesurent le nombre de photons émis par l'échantillon et leur position, mais ils offrent plusieurs avantages supplémentaires. On peut fixer un seuil d'énergie au-delà duquel ces photons sont détectés, ce qui permet de réduire le bruit et d'identifier de manière précise les photons émis, notamment au cours d'expériences utilisant un faisceau incident polychromatique (diffraction de Laue). Autre atout : le capteur peut être classiquement en Si, ou en CdTe, plus sensible aux RX de haute énergie (> 15 keV).

Des développements méthodologiques ont aussi été effectués au niveau du système d'exploitation du XPAD3 de façon à fortement améliorer la dynamique de mesure : il est possible d'accumuler les enregistrements de photons détectés au cours de centaines voire milliers de cycles de répétition d'une même expérience, d'une durée de l'ordre de la seconde. En synchronisant le XPAD et le cycle de l'expérience, les données sont stockées dans des registres de mémoire correspondant aux N phases du cycle ; et, au final, le XPAD fournit non pas Nx1000 images, mais N, ce qui simplifie grandement le traitement des données.

Enfin, dans un synchrotron comme SOLEIL les durées d'impulsion de photons permettent d'étudier des phénomènes dynamiques à l'échelle des picosecondes (10^{-12} s), et grâce à la nouvelle technique de slicing (cf Rayon de SOLEIL n°20, p11) on atteint même des impulsions femtoseconde (10^{-15} s). Pour cela, un échantillon est excité avec un laser puis sondé avec le rayonnement synchrotron à différents intervalles de temps après excitation. Ces mesures dites « pompe-sonde » sont répétées à la fréquence du laser - soit jusqu'à 10 kHz - afin d'obtenir un nombre suffisant de données. Pour ce type d'expérience, les paquets d'électrons circulent dans l'anneau à une fréquence de 847 kHz ; il y a donc près de 85 fois plus de pulses « sondes » que « pompe », et il faut arriver à sélectionner les impulsions de photons qui suivent immédiatement l'excitation laser. Jusq' alors, la solution consistait à ar-

rêter par un système d'écran mécanique les paquets d'électrons « en surplus » ; une solution chère, difficile à mettre en place et à régler, et limitée à une fréquence de 1 kHz. Grâce à l'XPAD 3.2, la sélection se fait au niveau de la détection : ne sont comptabilisés que les photons émis suite au pulse-sonde d'intérêt. Pour cela, un signal électronique synchronisé sur le système radiofréquence de l'anneau de stockage inhibe et désinhibe successivement l'ensemble des pixels du compteur, au fil du passage des paquets d'électrons. Un « chopper » électronique qui a déjà fait ses preuves sur la ligne CRISTAL.

... et l'acquérir, « à la volée »

Face à l'évolution des moyens de mesure et aux contraintes d'optimisation d'emploi du temps de faisceau, l'enjeu est d'obtenir le maximum de données en un minimum de temps - tout en étant capable, avant de lancer une expérience, de valider les conditions expérimentales pour s'assurer d'acquérir des données pertinentes. D'où le besoin d'avoir un feed-back en temps réel sur l'acquisition en cours. C'est le but du fly-scan dont le principe est de mesurer en parallèle plusieurs dimensions de l'expérience : par exemple la position du détecteur, l'intensité du faisceau de photons et une information expérimentale (mesure de fluorescence, d'absorption, ou de diffraction avec le XPAD par exemple), et ceci non plus pas à pas mais à la volée. Une dimension est ainsi mesurée en continu et toutes les autres lui sont associées, l'idée étant d'ajouter autant de dimensions supplémentaires que souhaité.

Ce système sans précédent d'acquisition simultanée multi-techniques « made in SOLEIL » s'appuie d'une part

sur l'existence d'une horloge commune à tous les systèmes de mesure (un signal électronique distribué dont le rôle est de synchroniser les acquisitions). Il nécessite d'autre part une infrastructure logicielle ad hoc, développée autour du format NeXus (cf Rayon de SOLEIL n°20, p. 20), qui permet l'homogénéisation des données. Quand le signal de synchronisation déclenche un des acteurs du système, celui-ci génère une série de données stockée dans un fichier élémentaire individuel, propre au dispositif déclenché. Et, en sortie, l'ensemble des fichiers individuels relatifs à l'expérience est fusionné (« mergé ») dans un fichier unique. Il devient ainsi possible de corréler des systèmes totalement indépendants, toute l'information étant ramenée à une même base de temps.

Dans un premier temps, le fly-scan de SOLEIL est mis au point dans le cadre de Nanoscopium, et sera à terme proposé à d'autres lignes.

La mise en place de ce système d'acquisition implique également tout un volet gestion - stockage, traitement, mise à disposition des utilisateurs - de l'énorme flux de données généré, en mobilisant notamment l'infrastructure de stockage de données de SOLEIL.

Un défi de taille, que la Division Informatique et Electronique de SOLEIL travaille actuellement à relever.

→ Contacts :

eynard@synchrotron-soleil.fr;
couprie@synchrotron-soleil.fr;
polack@synchrotron-soleil.fr;
giorgetta@synchrotron-soleil.fr;
hustache@synchrotron-soleil.fr;
leclercq@synchrotron-soleil.fr

1- NEG (non evaporative getter) : alliage de Titane, Zirconium et Vanadium déposé en couche de -1 µm d'épaisseur.

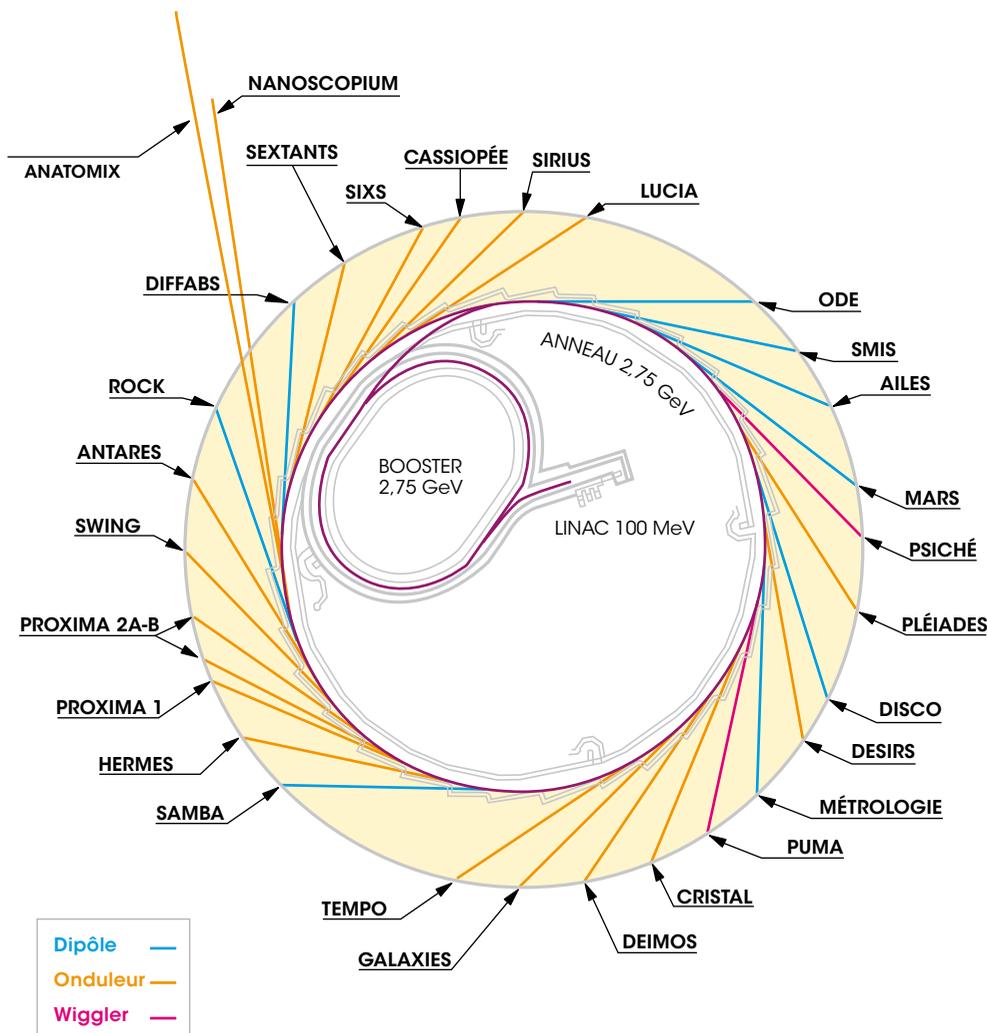


Dans le
laboratoire
« Détecteurs »

PANORAMA

Les lignes de lumière de SOLEIL

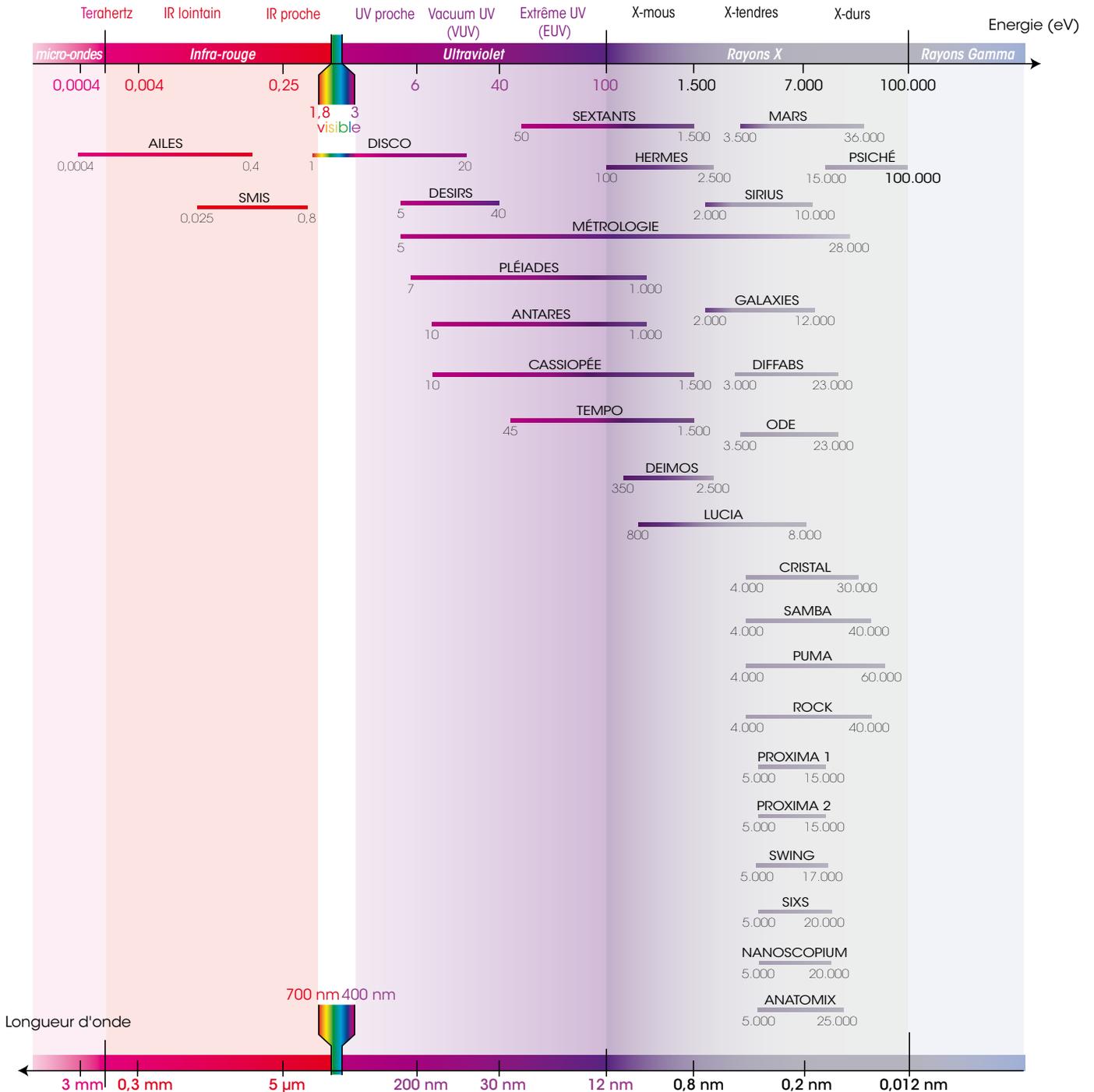
À SOLEIL, les lignes de lumière donnent accès à l'une des plus larges gammes d'énergie des synchrotrons actuels.



Fluo : spectroscopie de fluorescence
IR : infrarouge
P et T : pression et température
SAXS : diffusion X aux petits angles
THz : térahertz
UV, VUV : ultraviolets, vacuum UV (UV de haute énergie)
XAS : spectroscopie d'absorption X
XMCD/XMLD : dichroïsme X magnétique circulaire/linéaire
XPS : spectroscopie de photoémission X
XRD : diffraction X

- **LUCIA** : XAS, microscopie X, fluo X
- **ODE** : XAS (dispersif), XMCD
- **SMIS** : microscopie IR, spectroscopie IR
- **AILES** : spectroscopie IR, THz
- **MARS** : XAS, fluo X, XRD, SAXS – sur matériaux radioactifs
- **PSICHE** : XRD, tomographie (absorption) - haute P et T
- **PLÉIADES** : XPS, absorption VUV-X mous
- **DISCO** : microscopie UV- visible, spectroscopie UV, fluo UV, dichroïsme UV
- **DESIRS** : absorption UV-VUV, dichroïsme VUV
- **METROLOGIE** : diffusion, XRD
- **PUMA** : XAS, XRD, microscopie X, tomographie, fluo X
- **CRISTAL** : XRD – matière condensée
- **DEIMOS** : XMCD
- **GALAXIES** : diffusion X inélastique, XPS haute énergie
- **TEMPO** : XAS, XPS résolue en temps, XMCD / XMLD
- **SAMBA** : XAS, Raman
- **HERMES** : microscopie X mous, XPS
- **PROXIMA1** : XRD - biocristallographie
- **PROXIMA2** : XRD - biocristallographie
- **SWING** : SAXS
- **ANTARES** : XAS, microscopie, XPS résolue en angle, échelle nm
- **ROCK** : XAS
- **DIFFABS** : XRD, XAS, fluoX
- **ANATOMIX** : microscopie X, tomographie (contraste de phase), échelle nm
- **NANOSCOPIUM** : XAS, fluo X, microscopie X échelle nm
- **SEXTANTS** : XAS, XRD, diffusion X résonante
- **SIXS** : SAXS et XRD – surfaces et interfaces
- **CASSIOPEE** : XAS, XPS résolue en angle, en énergie, en spin
- **SIRIUS** : XRD, SAXS en incidence rasante

10 ans



RÉTROSPECTIVE

Atout bâtiments



Décembre 2001.

Le terrain est l'objet de fouilles archéologiques préventives (Inrap) avant le dépôt de demande de permis de construire.



Mars 2003.
Un panneau indique ce qui est en train d'être construit derrière cette grille...



Mars 2004.

Murs du LINAC et du booster.



Juillet 2004.

Construction de la charpente du toit du bâtiment synchrotron.



Novembre 2004.

Mise en place des premiers éléments du LINAC. Il fonctionnera pour la première fois en juillet 2005, suivi du booster en octobre 2005.



Mars 2006.

la cabane optique de DESIRS dans le hall expérimental, encore bien vide.



Mars 2006.

L'anneau est fin prêt. Les premiers tours des électrons auront lieu en mai 2006.



Mai 2006.

Vue plongeante dans la cabane optique de DIFFABS. En septembre 2006, DIFFABS est la première ligne de SOLEIL à produire des photons.



Juin 2003.

Après terrassement du terrain, on distingue l'empreinte du LINAC, booster et de l'anneau.



Décembre 2003.

On aperçoit l'extrémité de quelques-uns des 600 pieux qui soutiennent la dalle de béton sur lesquels sont construits les accélérateurs de SOLEIL.



Octobre 2005.

Le tunnel de l'anneau de stockage se remplit peu à peu.



Mars 2006.



Septembre 2012.

L'extension du bâtiment synchrotron pour Nanoscopium et ANATOMIX.



Juillet 2012.

L'extension du bâtiment pour les lignes Nanoscopium et ANATOMIX est visible en haut à droite de la photo.

POINT FORT

Accélérateurs de SOLEIL

Spécificités et aspects innovants



Dans le tunnel du booster.

Dix ans après le début de sa construction et au bout de cinq ans de fonctionnement, SOLEIL délivre des photons à 27 lignes de lumière avec cinq modes de remplissage différents, et en mode d'injection Top-up. Leurs caractéristiques et leurs performances sont résumées dans le Tableau 1. Le feedback transverse (système de feedback

numérique paquet par paquet) de SOLEIL est indispensable pour maintenir la stabilité d'un faisceau de haute intensité avec des dimensions transverses proches des valeurs théoriques. Les systèmes qui ont été développés sont très efficaces en modes multipaquets, hybride, huit paquets et mono-paquet. Les objectifs de 500 mA stockés dans 416

paquets, 100 mA dans 8 paquets et 20 mA dans un seul paquet, ont été atteints avec de bonnes performances en termes de stabilité de la position, taille de faisceau, efficacité d'injection et durée de vie du faisceau.

La disponibilité du faisceau de photons en opération et le temps moyen entre deux pannes, augmentent chaque année (voir Figure 1) et ont atteint en 2011 les valeurs record de 98,4 % et 56 h, respectivement.

Des choix techniques ont été appliqués avec succès pendant la conception des accélérateurs et ont conduit à d'excellentes performances au bout de plusieurs années de fonctionnement :

- Taux élevé (45 %) de longueur de section droite pour les éléments d'insertion par rapport à la circonférence totale de 354 m de l'anneau de stockage.
- Utilisation intensive de dépôt NEG (Non Evaporable Getter) dans toutes les chambres à vide en aluminium (56 % de la circonférence de l'anneau).
- Développement d'une cavité RF supraconductrice « sans modes d'ordre supérieur ».
- Développement d'amplificateurs solides 180 kW à une fréquence de 352 MHz.
- Éléments d'insertion innovants.

Tableau 1 : Les différents modes de remplissage proposés à SOLEIL.

MODE DE FONCTIONNEMENT	CARACTÉRISTIQUES EN OPÉRATION	MEILLEURES PERFORMANCES OBTENUES
Multipaquets	430 mA	500 mA
Hybride	425 mA + 5 mA	425 mA + 10 mA
8 Paquets	88 mA	100 mA
1 Paquet	12 mA	20 mA
Low α (Hybride) : longueur de paquet et courant par paquet	4,7 ps RMS et 65 μ A par paquet	2.5 ps RMS et 10 μ A par paquet

- Tolérances très serrées pour la stabilité en position du faisceau et fonctionnement transparent du mode Top-up.
- Nouveau type d'électronique numérique pour les mesureurs de position du faisceau (BPM) : modules LIBERA.

SOLEIL a été conçu comme une source de lumière synchrotron de faible émittance avec une optique Chasman-Green modifiée comportant une longueur totale de sections droites de 162 m pour une circonférence de 354 m. Les réglages optiques de l'anneau de stockage ont évolué en permanence pour restaurer les performances nominales intrinsèquement affectées par l'augmentation constante du nombre d'éléments d'insertion utilisés en opération. En 2011, un triplé de quadrupôles et une chicane de quatre aimants ont été montés sur une longue section droite afin de pouvoir installer deux onduleurs sous vide cantés avec un entrefer de 5,5 mm, pour les deux lignes de lumières longues (Nanoscopium et ANATOMIX) issues d'une même section droite. Ce nouveau réglage est utilisé avec succès en opération depuis janvier 2012. Un mode de fonctionnement avec une faible longueur de paquet, basé sur le réglage « Low Alpha » a été développé et mis en opération pour les utilisateurs. Plus récemment, une correction du couplage a été mise en place afin de maintenir le rapport entre les émittances verticale et horizontale à une valeur fixe de 1 % quelle que soit la configuration d'insertions.

La stabilité en position des faisceaux de photons fournis aux lignes de lumière est l'un des critères de qualité demandés par les utilisateurs de rayonnement synchrotron. Des solutions adaptées ont été étudiées pour minimiser les effets de chaque type d'instabilité dès la conception

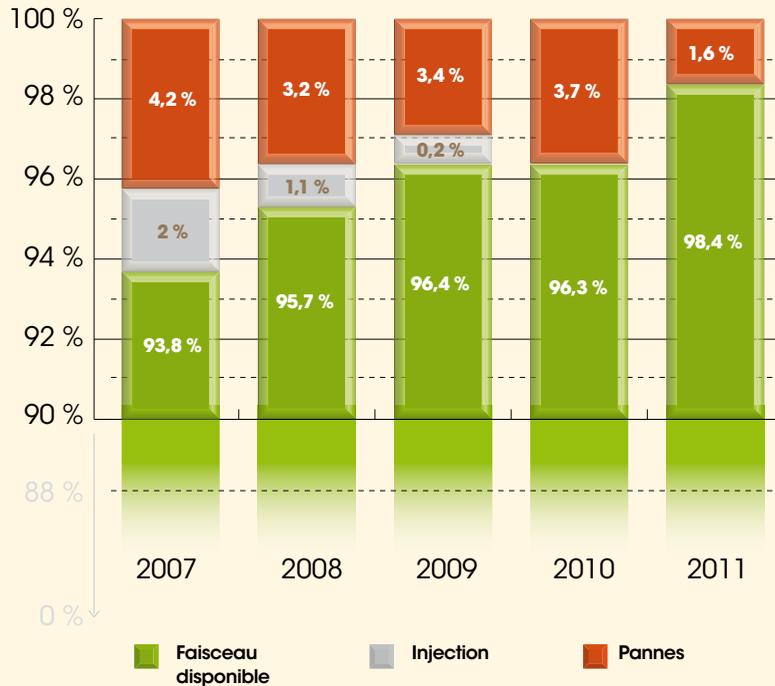


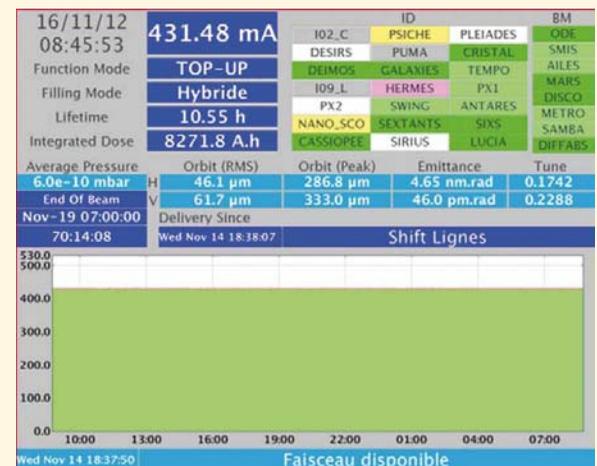
Figure 1 : Disponibilité des faisceaux de photons en opération.

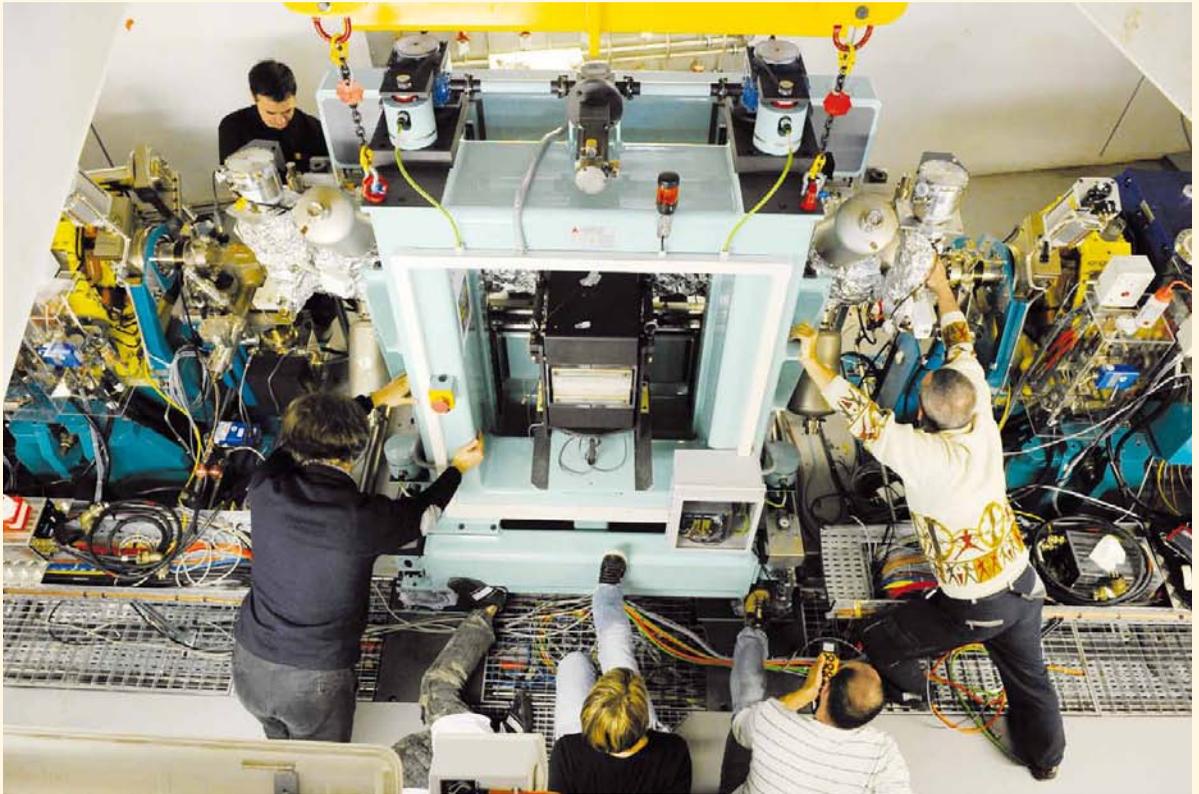
de l'anneau de stockage. De plus, deux feedbacks d'orbite (feedback d'orbite lent et feedback d'orbite rapide) fonctionnent ensemble grâce à un protocole sophistiqué. La stabilité en position à long terme (8 h) au niveau de tous les points sources est inférieure à 1 μm RMS dans les deux plans, et les sources de bruit de basse fréquence ont été identifiées et minimisées, permettant ainsi une réduction du bruit dans la plage 0,01 Hz à 500 Hz en dessous de 200 nm RMS à l'endroit des éléments d'insertion. Une attention particulière a été consacrée à la nouvelle ligne de lumière Nanoscopium. Des réunions « Relation de Conjugaison » ont été organisées régulièrement depuis janvier 2012 entre les membres de l'équipe technique et les responsables des lignes afin d'améliorer les critères de stabilité.

L'anneau de stockage de SOLEIL a été conçu pour fonctionner en mode d'injection Top-up dès la phase de conception. L'ensemble des équipements du système d'injection a été spécifié pour créer des perturbations aussi faibles que possible sur le faisceau stocké. Ces exigences ont

une incidence sur la conception et la réalisation des aimants pulsés d'injection, de leurs chambres à vide, de leurs alimentations pulsées et des dispositifs électroniques de synchronisation. Toutes les alimentations pulsées, conçues par SOLEIL, sont basées sur des amplificateurs solides, même pour la production de hautes tensions, et présentent une fiabilité exceptionnelle avec une contribution au taux de panne de l'anneau de stockage proche de zéro.

Figure 2 : Paramètres du faisceau d'électrons dans l'anneau de stockage pendant l'opération pour les utilisateurs (mode Top-up, remplissage hybride).





Installation
d'un onduleur
dans l'anneau
de stockage.

Des travaux importants ont été effectués sur les mesures systématiques, l'analyse de chaque phénomène, le réglage ou la modification de chaque équipement jusqu'à atteindre des résultats relativement bons et acceptables pour les utilisateurs : le décalage résiduel à l'injection dans l'anneau de stockage a été réduit à $<100 \mu\text{m}$ RMS dans le plan horizontal et $<40 \mu\text{m}$ RMS dans le plan vertical. Les efforts continuent pour l'amélioration de ces résultats, notamment dans le plan vertical où un correcteur dipolaire pulsé a été installé et doit bientôt être testé.

Comme indiqué précédemment, une partie très importante de l'anneau de stockage de SOLEIL est dédiée à l'installation d'éléments d'insertion. Actuellement, 26 insertions de différents types sont installées dans l'anneau de stockage, plusieurs d'entre elles étant uniques. La région UV-VUV est couverte avec des dispositifs électromagnétiques (HU640 + 3 HU256) offrant des polarisations variables. Un onduleur à électroaimants et aimants permanents (EMPHU), utilisant des bobines en

feuilles de cuivre pour une commutation rapide de l'hélicité, est en cours de mise en opération. 13 onduleurs de type APPLE-II avec des périodes allant de 80 à 36 mm fournissent des photons dans la gamme 0,1-10 keV, certains d'entre eux présentant une structure magnétique aperiodique. Cinq onduleurs sous vide U20 (et un U24) couvrent typiquement la gamme 3-30 keV, tandis qu'un wiggler sous vide (WSV50), équipé d'un système de compensation des forces magnétiques par ressorts, couvre le domaine spectral 10-50 keV. Un onduleur cryogénique sous vide de R&D (U18) constitué d'aimants permanents en $\text{Pr}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ a été construit et testé avec succès sur la machine. D'autres projets en phase de construction ou de conception sont en cours et seront présentés ultérieurement.

Le système RadioFréquence de l'anneau de stockage est basé sur des cavités supraconductrices qui facilitent l'amortissement des modes parasites d'ordre supérieur et améliorent ainsi la stabilité du faisceau. Le cryomodule de SOLEIL repose sur

une conception « maison » basée sur une paire de cavités à 352 MHz « sans modes d'ordre supérieur » installées dans un seul cryomodule. Pour les alimentations de puissance RF, il a été décidé que la technologie à amplificateurs solides pouvait offrir des avantages significatifs par rapport aux tubes à vide, en dépit de son caractère innovant et difficile pour la gamme de puissance exigée (environ 600 kW au total). De plus, l'absence de tubes à vide à 352 MHz dans le commerce pour la gamme de puissance désirée, ainsi que l'expertise acquise au LURE sur les prototypes d'amplificateurs solides, nous ont poussés à choisir d'alimenter chacune des cavités de l'anneau de stockage avec un amplificateur solide 180 kW et la cavité du booster avec un amplificateur solide de 35 kW. Ces amplificateurs solides se sont révélés très fiables, pratiques et souples pour le fonctionnement, avec une disponibilité opérationnelle et un temps moyen entre deux pannes (> 1 an) excellents.

→ **Contact :**
nadji@synchrotron-soleil.fr

ZOOM SUR

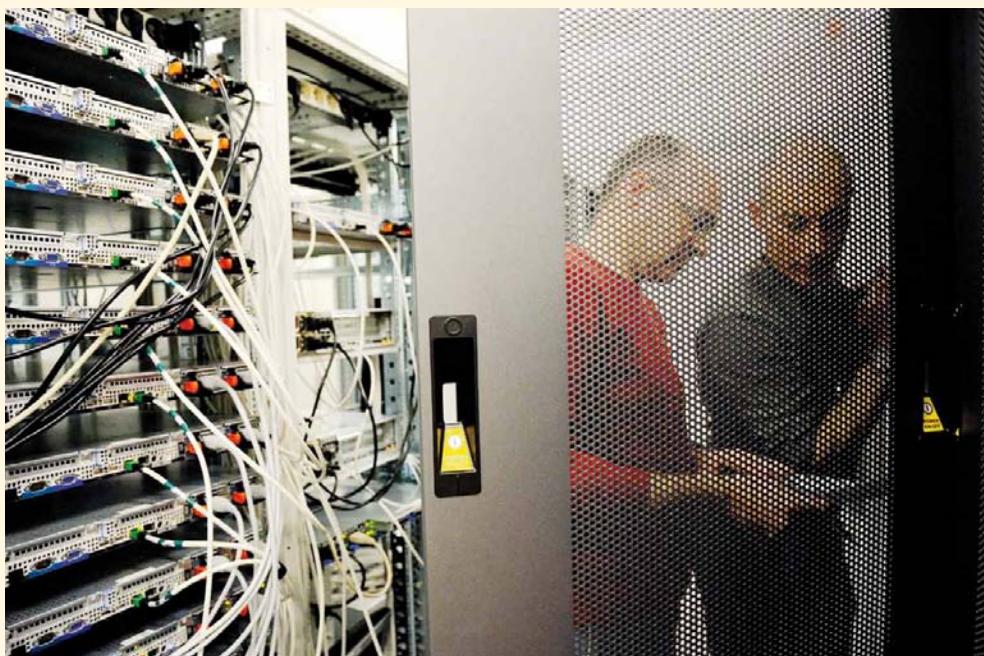
L'informatique et l'électronique à SOLEIL

Il y a un peu plus de 10 ans, tout était à faire d'un point de vue des moyens informatiques et de contrôle. Et la Division informatique était devant un planning contraint avec des ressources nécessairement limitées. Retour sur les choix réalisés, et leurs conséquences aujourd'hui.

Dès le début, le credo des équipes (alors réduites !) Informatique/Electronique a été : « standardisons ce qui peut l'être » pour optimiser les efforts d'installation, de maintenance, et les coûts ; « dans des architectures modernes, ouvertes et évolutives » pour pouvoir intégrer nouveaux besoins et nouvelles technologies. Si ce n'est pas toujours simple pour le futur utilisateur d'un système de se projeter au-delà de solutions déjà pratiquées ou dans une solution standardisée, un regard en arrière sur ces 10 années montre que cette ligne de conduite a permis de mettre les systèmes nécessaires à disposition en temps utile.

Très vite, étaient mis en place les premiers systèmes informatiques dans les bâtiments provisoires qui hébergeaient la société Synchrotron SOLEIL naissante (cf. Rayon de SOLEIL n°7). Il s'agissait de supporter les activités au quotidien de chaque membre du projet, pouvoir passer les premières commandes et émettre les premiers bulletins de paie...

En parallèle, avaient démarré les études pour le contrôle de la machine et des lignes de lumière, et pour l'acquisition des expériences : premiers recensements des be-



soins, évaluations des technologies et systèmes existants dans d'autres installations ou en développement. C'est ainsi que nous avons choisi le logiciel TANGO (voir encadré ci-dessous) comme base de tous les systèmes de contrôle et d'acquisition (cf. Rayon de SOLEIL n°11 et 12).

Bilan en 2012

Les trois réseaux informatiques de SOLEIL – réseau de site (Intranet, visiteurs), réseau dédié au contrôle de la machine, réseau dédié aux expériences (segmenté par ligne de lumière) – totalisent plus de 6000 points de connexion. Ils s'appuient sur une architecture centrale re-

Au cœur du bâtiment synchrotron, l'une des salles informatique sécurisée et climatisée qui héberge des serveurs gérés par la Division Informatique.

TANGO

Développé initialement par l'ESRF puis dans le cadre d'une collaboration internationale, le logiciel TANGO est à présent adopté par 9 grandes installations, mis en œuvre dans de nombreux laboratoires et proposé par des industriels dans leur réponse à des appels d'offres sur de grands projets. Il s'agit d'un système distribué, orienté contrôle-commande et basé sur le concept objets, dits « devices », représentant les équipements. Le logiciel associé à chaque device est dit « device server ». TANGO intègre des outils

génériques de configuration, tests, archivage, et peut s'interfacer avec des outils comme MatLab, LabView, Igor, ou python. En complément, SOLEIL a associé à TANGO le logiciel GlobalSCREEN de la société ORDINAL pour construire des interfaces graphiques de supervision conviviales qui peuvent aller jusqu'à intégrer des applications de prétraitement des données, ainsi qu'un outil graphique de séquençage, Passerelle de la société ISENCIA.

<http://www.tango-controls.org/>



Interaction entre les Divisions Sources et Informatique : test en laboratoire d'un système de contrôle du faisceau d'électrons.

dondante, 2x10Gb/s, offrant une haute disponibilité, et distribuent les services associés à chaque réseau. Plus de 800 postes de travail (postes fixes et portables) sont déployés et maintenus. Le réseau Intranet supporte également le trafic de la téléphonie IP déployée dès 2005. Plus récemment, une infrastructure WiFi a été progressivement mise en place et couvre à présent l'ensemble des bâtiments.

SOLEIL compte plus de 25 systèmes de contrôle et d'acquisition, regroupant 2500 sous-systèmes informatiques et électroniques : serveurs et terminaux X ; électroniques CompactPCI pour les besoins d'acquisition et de contrôle rapide ; automates programmables pour les besoins de contrôle industriel ; motorisations (voir encadré ci-dessous) et développements électroniques spécifiques. Cela a conduit à déployer plus de 30 000 devices servers TANGO. Cela fait de SOLEIL la première installation à avoir utilisé TANGO à une aussi large échelle.

Motorisations

SOLEIL compte plus de 1500 moteurs en fonctionnement, essentiellement sur les lignes, pour piloter monochromateurs, miroirs, etc. Aujourd'hui, 84% d'entre eux sont contrôlés par la solution standardisée SOLEIL : un contrôleur du commerce intégré dans un châssis dit ControlBox associé à une unité de puissance -DriverBox pour les moteurs pas-à-pas (VacuumBox pour ceux sous vide), ServoBox pour les servomoteurs. En partenariat avec le futur synchrotron suédois MAX IV, SOLEIL a engagé un projet, dit REVOLUTION, pour renouveler le contrôleur actuel choisi en 2004 et élargir les performances et possibilités de la solution standardisée : trajectoires complexes, nanopositionnement...

Données expérimentales

Les données expérimentales sont stockées sur une infrastructure dédiée, distribuée entre stockage local aux lignes, stockage central primaire et secondaire : le logiciel ActiveCircle de la société éponyme gère la sécurité et la vie des données sur celle-ci. Les données sont conservées au moins 100 jours après la fin de l'expérience. Une application dédiée, SOLEIL Data Retrieval, permet d'explorer à distance les répertoires associés à un projet expérimental et de télécharger des fichiers de données, dans la mesure où les volumes sont compatibles avec un transfert via le réseau.

De manière préférentielle, les données expérimentales sont stockées sur cette infrastructure au standard NeXus (cf. Rayon de SOLEIL n°20). Basé sur le format HDF5, retenu par la collaboration européenne PaNData pour harmoniser les formats de données, il permet de créer des fichiers autoporteurs incluant les métadonnées nécessaires à l'exploitation des données brutes. 2 millions de fichiers NeXus ont déjà été produits à SOLEIL. Cependant, les applications d'analyse déjà existantes ne s'appuient pas encore sur ce format : développée en partenariat avec la source de neutrons australienne ANSTO et depuis peu DESY et ANKA, une interface, dite CDMA ou CommonDataModelAccess, permet de masquer le format des fichiers et l'organisation des données dans ces fichiers pour pouvoir partager données et applications entre instituts de recherche. Cette couche unifiée d'accès aux données est notamment mise en œuvre dans les applications de réduction des données opérationnelles sur certaines lignes de lumière.

<http://sunset.synchrotron-soleil.fr/sun/>

Un autre pan tient aux moyens de calcul et de stockage des données expérimentales³ mis à disposition des scientifiques de SOLEIL et des utilisateurs des lignes : cluster de calcul de 11,9 Tflops (1T = 10¹²), 1 Pétaoctet (10¹⁵ octets) de stockage primaire sur disques redondés entre les deux salles informatiques, bibliothèques de bandes LTO permettant d'assurer le stockage secondaire (et l'archivage sur demande). Parallèlement, le système initial d'informatique de gestion s'est largement enrichi pour pouvoir gérer l'ensemble des ressources humaines et matérielles de SOLEIL, mais aussi tous les services liés à

l'accueil des utilisateurs des lignes : du dépôt des projets jusqu'au rapport final.

Une histoire qui ne s'arrête pas là

Il s'agit à présent de maintenir les systèmes au meilleur niveau opérationnel. C'est ainsi qu'au cours des années, les techniques de virtualisation ont été introduites pour optimiser le nombre de serveurs, une intense campagne de fiabilisation a permis de diviser par 2 les appels aux astreintes quand le nombre de lignes en service continuait de croître, etc.

Le défi actuel tient à l'explosion du volume de données expérimentales, du fait de l'introduction concomitante des détecteurs 2D et de la technique d'acquisition FlyScan (cf article p. 6) : le volume quotidien attendu dépassera le téraoctet de données sur chaque ligne concernée, avec des hauts débits instantanés, ce qui impose d'adapter les moyens actuellement en place.

→ **Contact :**
gagey@synchrotron-soleil.fr

Recherche interdisciplinaire et résultats

DOSSIER

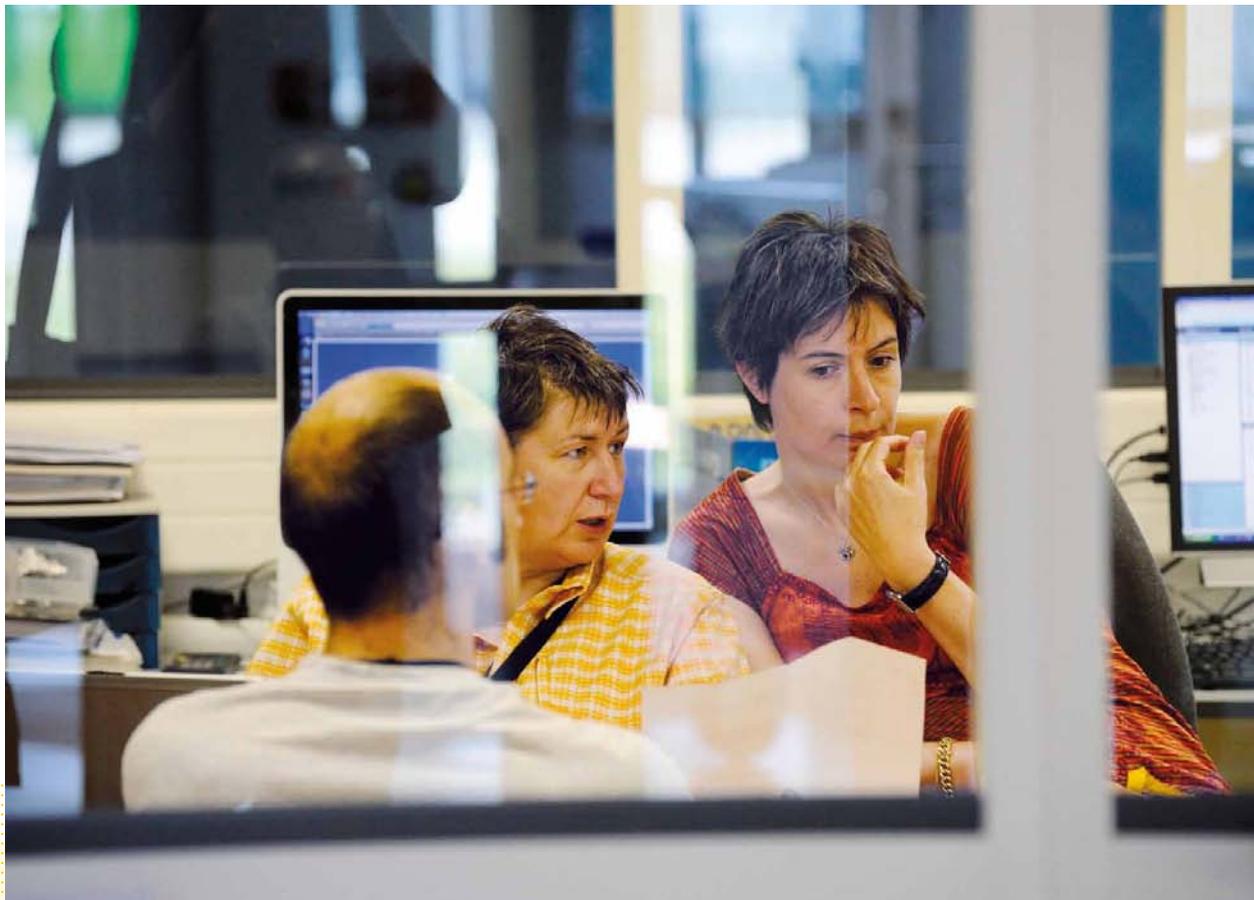


Le bilan de 4 années de fonctionnement de la source de lumière et des lignes de SOLEIL conforte aujourd'hui tous les choix faits depuis dix ans.



Recherche interdisciplinaire et résultats

Des interactions permanentes entre les équipes des différentes lignes



La stabilité du faisceau, la qualité de l'instrumentation et l'expertise des personnels qui assurent le fonctionnement des installations permettent en 2012 d'accueillir annuellement plus de 3000 utilisateurs sur les lignes de lumière, de réaliser dans les meilleures conditions près de 2000 projets et de comptabiliser depuis l'ouverture aux utilisateurs en 2008 près de 500 publications dans des journaux de fort et très fort facteur d'impact (soit plus des 2/3 de la totalité des publications). Conçues historiquement comme des lignes spécifiques en terme de méthode d'analyse et de communautés scientifiques utilisatrices, force est de constater aujourd'hui que les frontières entre disciplines s'estompent et que leurs interfaces sont de plus en plus nombreuses. Cette richesse scientifique et d'innovation, qui s'appuie sur les forces de chaque discipline, continue à requérir les moyens uniques d'analyse et de ca-

ractérisations des lignes de lumière de SOLEIL, mais sous une forme nouvelle : un même projet va maintenant solliciter plusieurs lignes de lumière, capable d'analyser le même échantillon et cela dans une séquence d'études et d'applications de méthodes définie. Et cela, idéalement, en permettant la préparation de cet échantillon sur le site même de SOLEIL. Cette nouvelle approche de l'utilisation de SOLEIL peut s'illustrer dans de nombreux domaines dont sont donnés ici trois exemples.

Catalyse

Optimiser la catalyse, c'est maîtriser la reproductibilité en composition, élaboration, structure du matériau catalyseur, analyser in situ son évolution en fonctionnement, suivre le processus catalytique lui-même dans des conditions de température et de pression particulières. Pour cela, la diffusion X pour le suivi du

SWING

Cristallisation de boîtes quantiques au sein d'une matrice 3D biomimétique

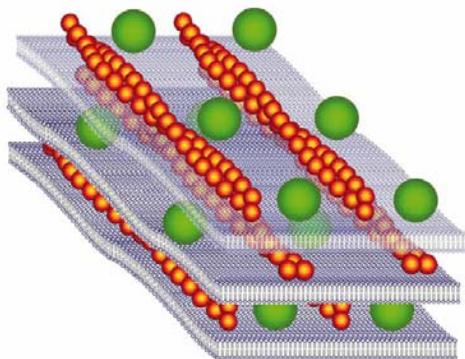


Figure 1 : schéma de la structure. De fortes interactions électrostatiques entre les microfilaments anioniques (en rouge) et les lipides cationiques provoquent des ondulations des bicouches lipidiques (en bleu). Les boîtes quantiques (en vert) sont enfoncées entre les filaments d'actine mais aussi les membranes lipidiques.

Générer de nouvelles propriétés physiques par cristallisation des nanoparticules est très difficile. Concevoir de tels matériaux, aux propriétés physiques inattendues, est la principale motivation en recherche de nouvelles stratégies pour contrôler la cristallisation des nanoparticules. Dans ce contexte, les molécules biologiques et les auto-assemblages moléculaires sont des matrices prometteuses, car ils organisent la formation spontanée de nanostructures inorganiques de formes bien définies et de tailles caractéristiques monodisperses. Un modèle cristallin 3D auto-assemblé de filaments de protéines d'actine hélicoïdaux et de bicouches de lipides a été synthétisé. Sa capacité à générer un auto-assemblage hiérarchisé de boîtes quantiques (quantum dots, QDs ; figure 1) a pu être démontrée par utilisation de la technique de SAXS sur SWING. Des QDs fonctionnalisés sont incorporés par interaction électrostatique au cours de l'auto-assemblage dynamique de la matrice actine / lipides. De ce lent mélange résulte la formation des fibres cristallines, garantissant la haute qualité du cristal. Un cristal 3D très bien défini de QDs se forme alors, dont les paramètres cristallins ($26,5 \times 18,9 \times 35,5 \text{ nm}^3$) sont

imposés par l'épaisseur de la membrane, le diamètre et le pas d'hélice. L'inclusion au sein de multicouches lipidiques de nanoobjets fournissant des échelles de longueur bien définies est nécessaire pour créer l'ordre 3D : en effet celui-ci est perdu en l'absence l'actine. Les propriétés de fluorescence des cristaux 3D de boîtes quantiques démontrent un effet direct de la nanostructuration au sein du cristal.

Une telle formation de réseaux 3D de nanoparticules ouvre une nouvelle voie vers des matériaux optiques, facilement préparés par auto-assemblage de vésicules, protéines, et nanoparticules hydrophiles en environnement aqueux. Cette stratégie pourrait être étendue à tout type de nanoparticules hydrophiles, aux morphologies variées. En outre, la gamme de longueurs caractéristiques pourrait être étendue en utilisant d'autres matériaux biologiques.

→ **Contacts** : meneau@synchrotron-soleil.fr ; franck.artzner@univ-rennes1.fr

Référence :
E. Henry et al. Nano Letters 11(12) (2011). 5443-5448

processus de nucléation-croissance du matériau, l'absorption et la fluorescence X couplées à la spectrométrie de masse, la photoémission, la tomographie sont à la fois complémentaires et nécessaires pour répondre aux questions multiples et complexes visant à optimiser, en termes d'efficacité et de coût, des processus à haute valeur ajoutée.

Sciences du Vivant

Les sciences du Vivant et de la santé, pour lesquelles la « biologie intégrative » et les développements en biomédecine régénératrices et réparatrices sont des enjeux sociétaux majeurs, trouvent à SOLEIL l'ensemble des méthodes d'analyses qualitatives et quantitatives permises par le rayonnement synchrotron des sources de troisième génération : microscopie X, SAXS, spectromicroscopies IR et UV, biocristallographie... Grâce à ces techniques, enrichies par les imageries 3D bientôt disponibles sur les

lignes Nanoscopium et ANATOMIX, SOLEIL répond au besoin d'études et de caractérisations multi-modales et multi-échelles du Vivant, depuis la structure tridimensionnelle des macromolécules et de leurs complexes, jusqu'aux structures tissulaires hiérarchiques, en passant par les distributions cellulaires et tissulaires des éléments chimiques et des agents thérapeutiques.

Science des matériaux

L'étude des matériaux, souvent à l'interface entre la physique et la chimie, est traditionnellement bien implantée dans les centres synchrotron, dans la mesure où les techniques de caractérisation y sont largement développées (diffraction, diffusion, absorption, fluorescence...). SOLEIL répond largement à cette demande grâce aux nombreuses lignes ouvertes à ces techniques. Des développements spécifiques ont conduit à apporter des réponses plus précises, souvent

PROXIMA 1

La structure 3D des protéines de surface du virus du chikungunya élucidée

Le virus Chikungunya, propagé par des moustiques, provoque des infections dont les symptômes (douleurs articulaires aiguës) sont similaires à ceux du virus de la Dengue.

Le laboratoire de l'Institut Pasteur

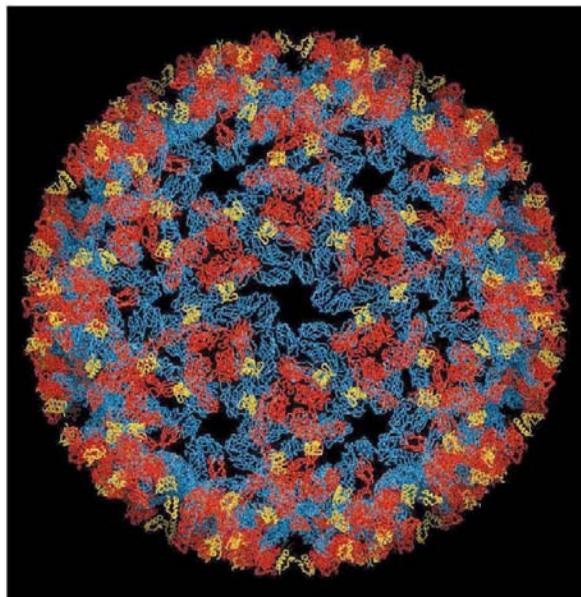


Figure 1 : Surface d'une particule du virus chikungunya constituée de 240 complexes protéiques E3/E2/E1 (en bleu/rouge/jaune)

a permis de décrire à l'échelle atomique l'organisation des protéines qui forment la couche externe du virus, et les modifications structurales liées à la fois aux mécanismes d'invasion et de production de nouveaux virus.

Deux complexes protéiques ont été identifiés : p62/E1 et E3/E2/E1, le second issu de la maturation du premier. Le virus se fixe d'abord sur la membrane de la cellule cible grâce à E2. Cette membrane entoure ensuite le virus pour l'enfermer dans des vésicules qui assurent son transport vers des compartiments cellulaires successifs, les endosomes, pour le diriger vers le lysosome chargé de le démanteler.

Or le pH des endosomes devient progressivement acide, ce qui active E1. Cette protéine va assurer la fusion des membranes virale et endosomale, permettant au virus de libérer son ARN dans la cellule. Et c'est la machinerie cellulaire qui va multiplier les virus à partir de l'ARN viral.

P62, quant à elle insensible au pH acide, s'associe à E1 et permet la migration du complexe vers la membrane cellulaire. Lors de ce trajet, p62 subit un processus de

maturation à l'origine des protéines E2 et E3.

Les complexes E3/E2/E1 ainsi formés s'assemblent pour constituer de nouvelles particules virales, qui bourgeonnent à la surface de la cellule infectée et vont envahir de nouvelles cellules. La compréhension de ces mécanismes démontre que la stabilisation du complexe E3/E2/E1 éviterait l'invasion de la cellule par le virus. L'étude a également déterminé les domaines de reconnaissance des anticorps neutralisants situés sur E2, ouvrant la voie vers de nouvelles approches vaccinales.

Ces travaux exploitent la structure à basse résolution des complexes protéiques, obtenue par cryo-microscopie électronique, ainsi que la structure du complexe protéique dans sa forme mature, résolue sur la ligne PROXIMA 1, en collaboration avec société Global Phasing Ltd (Cambridge).

→ **Contacts :**
thompson@synchrotron-soleil.fr;
felix.rey@pasteur.fr

Référence :
 Voss, J. E. et al. Nature 468 (7324) (2010) 709-712

... Suite de la page 21

en appui avec des collaborations extérieures, en multipliant par exemple les études de matériaux sous contraintes ou dans un environnement complexe, dans des conditions extrêmes de température et/ou de pression, de champ magnétique ou électrique. L'utilisation de la cohérence des faisceaux se développe pour caractériser par exemple le champ de contrainte aux interfaces, de même que la tomographie à haute résolution spatiale et sensibilité pour une analyse 3D. Un accent particulier est donné à SOLEIL quant aux matériaux du patrimoine qui nécessitent une préparation très spécifique de l'échantillon. Enfin, les études dépendantes du temps bénéficient des nombreux modes d'opération de l'anneau (1 paquet, 8 paquets, mode hybride, low alpha) et trouveront un essor

particulier dans le développement du femto-slicing permettant de générer des pulses femto-secondes (cf Rayon de SOLEIL n°20, p11).

La connaissance des propriétés fondamentales de la matière est un enjeu essentiel pour pouvoir élaborer dans le futur des matériaux complexes ou comprendre leur comportement (contrôle) à grande échelle ou sous excitation externe. Ceci passe souvent par le développement d'expériences complexes où un maximum de paramètres sont mesurés simultanément. Le choix de SOLEIL de développer des lignes de lumière « sur mesure » (cf page 6), où tous les choix techniques, de la source, de l'optique, jusqu'aux détecteurs, ont été poussés au maximum, a permis d'obtenir des résultats originaux, reconnus par des publications de très haut niveau.

PLEIADES

Visualiser les potentiels moléculaires des états « cachés »

Connaître les distributions de densité électronique et des surfaces d'énergie potentielle des molécules est une clé pour prédire leurs propriétés physiques et leur réactivité chimique. La mesure de l'énergie des électrons éjectés par des molécules suite à une exposition à un rayonnement est l'une des méthodes les plus courantes pour étudier différents états moléculaires. Toutefois, avec les méthodes conventionnelles, beaucoup d'états électroniques restent inaccessibles ou apparaissent fortement masqués par d'autres états, ce qui les rend impossibles à isoler et à caractériser.

Les chercheurs de PLEIADES, en collaboration avec des théoriciens japonais et suédois, ont trouvé une manière « d'extirper » des états moléculaires des régions de chevauchement et de reconstruire ainsi leurs potentiels jusqu'alors inaccessibles. Ils ont utilisé la spectroscopie de photoémission résonante afin d'atteindre les états

moléculaires ciblés non pas directement, comme le font les méthodes conventionnelles de spectroscopie de photoélectrons, mais indirectement via un état intermédiaire. Cet état neutre, hautement excité, est produit par absorption d'un photon X-mou d'énergie bien définie. Plusieurs femtosecondes après cette absorption, les espèces hautement excitées ainsi produites se désexcitent en éjectant un électron de valence. Dans l'état intermédiaire, cependant, la molécule vibre et dispose de suffisamment de temps pour que les distances interatomiques changent, et donc la longueur de sa liaison change. La partie sondée du potentiel de l'état final est par conséquent différente de celle que sondent les méthodes directes de spectroscopie de photoélectrons, qui peuvent uniquement accéder aux transitions dites verticales. Dans ces dernières transitions, la géométrie de la molécule est la même que dans l'état

fondamental et aucun changement de longueur de la liaison ne se produit. En accordant l'énergie des photons du rayonnement exciteur, différents niveaux vibrationnels de l'état intermédiaire peuvent être atteints, ce qui permet de contrôler l'étendue de la région sondée dans les états finaux. Cette technique particulièrement exigeante nécessite des sources de rayonnement de haute brillance en raison de la diminution considérable du signal lorsque l'énergie d'excitation est accordée sur les niveaux vibrationnels supérieurs de l'état intermédiaire. Jusqu'alors réalisables uniquement sur PLEIADES, de telles expériences pourront bientôt avoir lieu au synchrotron PETRA III de DESY en Allemagne ainsi qu'à MAX IV de Max-Lab en Suède.

→ **Contact :**
miron@synchrotron-soleil.fr

Référence : Miron, C. et al. Nature Physics 8(2)(2012) 135-138

Figure 1: Spectres de photoémission résonante (points) de la molécule d'azote enregistrés pour une série d'états vibrationnels intermédiaires $v = 0 - 6$ de l'état de cœur excité $N1s \rightarrow \pi^*$. Les sections efficaces totales et partielles calculées sont représentées en lignes continues.

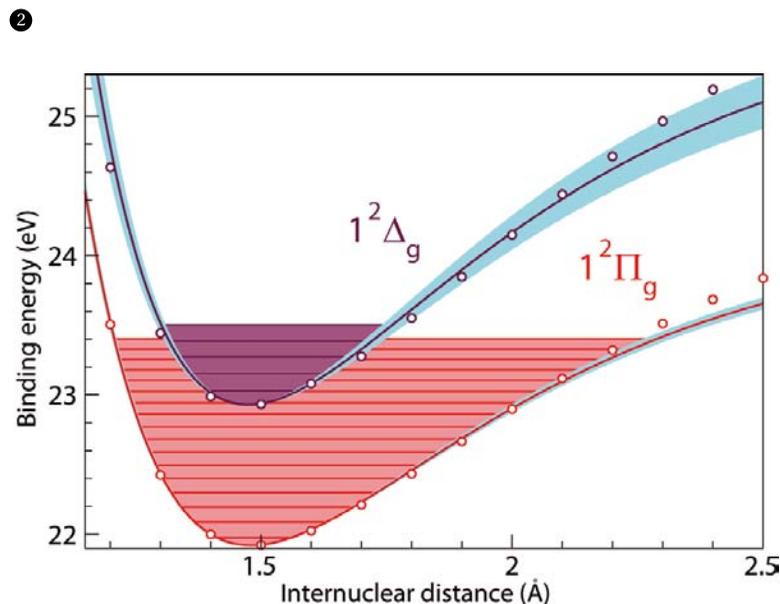
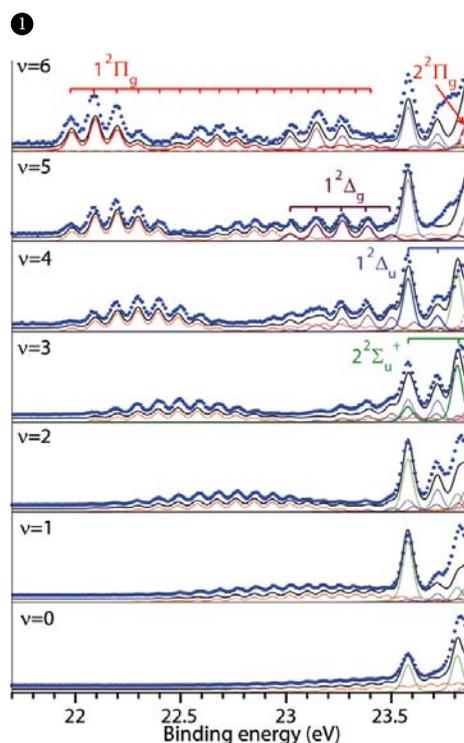


Figure 2: Comparaison entre les potentiels moléculaires reconstruits à partir des données de spectroscopie de photoémission résonante et les potentiels calculés ab initio (cercles vides). Les zones colorées en bleu représentent les barres d'erreur.

CRISTAL

Des dislocations révélées dans un cristal de Si en volume par diffraction X cohérente

Les dislocations sont des défauts linéaires dans l'empilement des atomes des cristaux et sont impliquées dans la plupart de leurs propriétés physiques : propriétés mécaniques des matériaux, électroniques des semi-conducteurs... Si des techniques comme la microscopie électronique à transmission ou à effet tunnel donnent des images des dislocations à une résolution atomique, elles ne s'appliquent qu'à des échantillons de quelques dizaines de nm d'épaisseur au maximum, et l'étude des dislocations en volume n'est quant à elle pas simple. Sur la ligne CRISTAL, la combinaison des techniques de diffraction cohérente des rayons X (CXRD) et de topographie X a permis de détecter et obtenir des informations structurales sur les dislocations présentes quelques micromètres sous la surface d'un échantillon en volume. C'est le silicium Si(110), « matériau-modèle », qui a été étudié, car il est possible de choisir des cristaux ne contenant qu'un faible nombre de dislocations, présentes sous forme de « boucles » sur un diamètre d'environ 100 µm. Lors d'une expérience de CXRD sur un cristal, on étudie les faisceaux intenses réfléchis par les plans atomiques du cristal : les réflexions de

Bragg. Si l'échantillon est parfaitement ordonné dans tout le volume éclairé, ces réflexions sont des pics de largeur inversement proportionnelle à la taille du faisceau. En revanche, si l'échantillon contient un certain désordre ou un défaut, ces pics se divisent en deux ou plusieurs sous-pics.

Ici, après avoir sélectionné une dislocation isolée dans l'échantillon par topographie, un faisceau de quelques microns a permis de cartographier par pas de 5 µm ce défaut du cristal de Si. Outre le dédoublement de la réflexion de Bragg dû à la dislocation, les chercheurs ont obtenu une information supplémentaire sur le cœur de cette dislocation : les images indiquent (tige dans les diagrammes de diffraction) que la boucle de dislocation est dissociée, c'est-à-dire composée de deux boucles parallèles séparées par une faute d'empilement, autre défaut classique de la matière. Une analyse directe de l'intensité permet donc d'imager la boucle de dislocation. Les progrès des sources et des optiques X viendront bientôt renforcer les possibilités de cette technique qui, par ailleurs, permet d'envisager des expériences dans des conditions diverses telles que sous champ

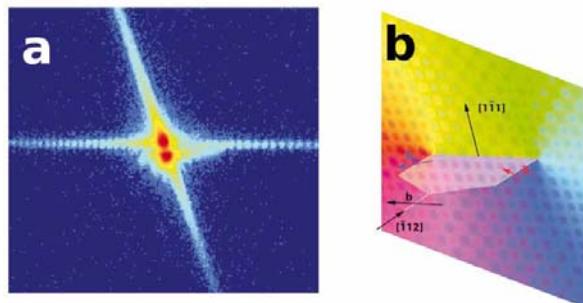


Figure 1a) Cliché de diffraction cohérente enregistré sur la réflexion 220 du silicium en présence d'une ligne de dislocation dissociée. Le dédoublement de la tâche est lié au saut de phase introduit par la dislocation et la tige intense à la faute d'empilement se situant entre les lignes des dislocations partielles. **Figure 1b)** Schéma de la dislocation dissociée en deux dislocations partielles, et des vecteurs de Burgers associés – ils donnent la direction et l'amplitude du déplacement atomique introduit par la dislocation.

magnétique ou électrique, à haute pression, à basse température... autant d'environnements échantillon impossibles à utiliser dans le cas des techniques basées sur la diffraction d'électrons.

→ **Contacts :** ravy@synchrotron-soleil.fr ; vincent.jacques@u-psud.fr

Référence : Jacques, V.L.R. et al. Physical Review Letters 106 (2011), 065502

SAMBA

Une structure originale de l'oxyde de Re mise en évidence par XAS et Raman *operando*

En raison de sa haute sélectivité et du nombre réduit de réactions nécessaires, la conversion catalytique des alcools est une manière élégante de valoriser la biomasse en la transformant en produits à valeurs ajoutées. Parmi les réactions possibles, la conversion directe du méthanol (CH₃OH) en méthylal (CH₂(OCH₃)₂) a suscité un intérêt croissant, dû à la fois à ses implications en chimie verte et à sa pertinence comme réaction modèle pour étudier les sites actifs bi-fonctionnels des catalyseurs. En pratique, le méthanol gazeux est mis en contact avec le catalyseur à la surface duquel se produit la réaction. La présente étude est consacrée aux catalyseurs

oxorhenate sur support de silice, ReO_x/SiO₂ qui, préparés par imprégnation classique, se révèlent moins actifs et moins sélectifs que ReO₃ ou ReO_x/TiO₂.

Il a précédemment été montré que l'activité de tels catalyseurs est fortement corrélée à la nature du support, tandis que la structure de la phase active consiste dans tous les cas en des fragments isolés de ReO₄ en coordination tétraédrique.

Pour tenter de l'expliquer, les chercheurs avaient alors proposé que l'hydratation différentielle de la phase de rhénium - peut-être due au support - pouvait influencer sur les performances catalytiques des matériaux ReO_x, plus que le support lui-même.

Dans ce travail, le catalyseur est préparé en utilisant une méthode sol-gel en une seule étape. À 240° C, il donne un rendement 4 fois plus élevé que les catalyseurs Re/SiO₂ classiques à la même température.

Les spectroscopies Raman et XAS au seuil L_{1,3} du rhénium (mesures simultanées à la réaction catalytique, dans une cellule spectroscopique dédiée permettant de faire circuler les réactifs et de contrôler la température du catalyseur) ont été employées *operando* pour comprendre l'origine de cette forte activité. En Raman, deux modes inhabituels d'étirement ν(ReO) sont détectés à 944 et

CASSIOPEE

Vers des transistors multi-fonctionnels à base d'oxyde

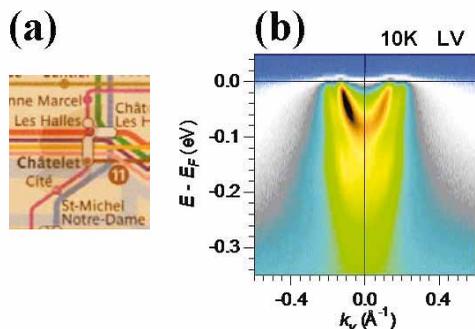


Figure 1 : (a) Photo d'un des échantillons de SrTiO_3 isolant étudié (posé sur un plan du métro). **(b)** Structure de bandes (Energie de liaison des électrons en fonction de leur vecteur d'onde k_y , lié à leur direction de propagation dans le solide) enregistrée à 10K. Le dédoublement des paraboles d'électrons libres montre la quantification des niveaux d'énergie des électrons due à leur confinement près de la surface.

Ces 50 dernières années, les appareils électroniques ont transformé la façon dont nous vivons, communiquons et travaillons. Une révolution rendue possible par l'ingénierie des transistors à effet de champ à structure métal-oxyde-semiconducteur (MOSFET), dont les gaz d'électrons bidimensionnels (2DEGs) sont au cœur des composants des appareils électroniques d'aujourd'hui. Mais les techniques utilisées pour créer ces circuits intégrés atteindront bientôt leur limite de 10 nm. Pour répondre à la demande croissante de performances et de miniaturisation, des alternatives sont à l'étude. Le titanate de strontium (SrTiO_3), l'un des matériaux candidats, fait ainsi l'objet de recherches

intenses. A l'interface entre le SrTiO_3 et d'autres oxydes isolants se forment des gaz d'électrons bidimensionnels métalliques (alors que les deux constituants sont des isolants) qui, de plus, montrent de nombreuses propriétés intéressantes : supraconductivité, magnéto-résistance, thermoélectricité... En outre, SrTiO_3 n'est pas toxique et ses composants sont largement disponibles dans la nature. Cependant, ces interfaces sont difficiles et coûteuses à produire. Mais une découverte inattendue a ouvert une nouvelle voie pour la génération et la compréhension de ces 2DEGs. Voulant, au départ, étudier la structure électronique de SrTiO_3 pour différents dopages, une équipe scientifique internationale a mis en évidence la présence en surface d'un 2DEG fortement métallique, même dans le cas d'échantillons isolants en volume. C'est après avoir brisé sous vide un morceau de SrTiO_3 que l'équipe, menée par des chercheurs de l'Université Paris-Sud et du CNRS, a découvert le développement spontané de ce métal 2D à la surface du matériau. Un résultat révélé par des mesures de photoémission

angulaire à haute résolution (Fig. 1b) effectuées sur la ligne CASSIOPEE et au SRC (USA), qui montrent clairement des bandes coupant l'énergie de Fermi E_F , c'est-à-dire métalliques. La couche métallique, de 2 nanomètres d'épaisseur, est ainsi produite par un processus simple, peu coûteux et potentiellement reproductible pour d'autres oxydes de métaux de transition.

Une telle découverte est un bond en avant pour le domaine naissant de l'électronique à base d'oxydes et pourrait à l'avenir permettre de combiner les propriétés intrinsèques d'une matrice d'oxyde de métal de transition et celles d'un 2DEG à sa surface. On pourrait par exemple imaginer la réalisation de mémoires non-volatiles par couplage d'un oxyde ferro-électrique avec un métal 2D à sa surface, ou la fabrication de circuits transparents à la surface des cellules photovoltaïques ou des écrans tactiles.

➔ **Contacts :**
bertran@synchrotron-soleil.fr ;
andres.santander@csnsm.in2p3.fr

Référence : A. F. Santander-Syro et al. Nature 469 (2011), 189-193

992 cm^{-1} , reflétant une structure originale. Leur intensité est visiblement diminuée au cours de la réaction, ce qui suggère qu'ils sont produits par un groupement impliqué dans le mécanisme réactionnel. Pour compléter ces données, des mesures de XANES et EXAFS ont été réalisées sur SAMBA en utilisant le monochromateur Quick-EXAFS (cf Rayon de SOLEIL n°18, p. 24). Les résultats permettent de conclure à l'existence d'une structure inédite dans laquelle le tétraèdre ReO_4 interagit avec de l'eau, comme c'est le cas pour l'adduit $\text{Re}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

➔ **Contacts :** **brois@synchrotron-soleil.fr;**
Elise.Berrier@univ-lille1.fr

Référence :
 A. Yoboué et al. Chemical Communications 47(14) (2011) 4285-4287

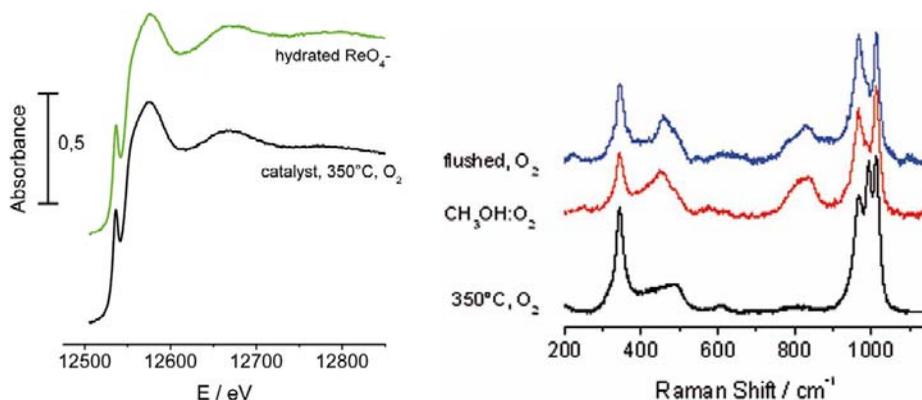


Figure 1 - à gauche : comparaison des spectres XANES enregistrés au seuil L, du Re pour le catalyseur $\text{ReO}_x/\text{SiO}_2$ (O_2 , 350°C) et le ReO_4^- aqueux. **À droite :** spectres Raman operando du catalyseur $\text{ReO}_x/\text{SiO}_2$ déshydraté à 350°C sous O_2 (en noir), pendant la catalyse de l'oxydation du méthanol à 240°C (en rouge) suivie d'un balayage d'hélium et d'oxygène (en bleu).

PORTRAIT D'EXPERT

HÉLÈNE ROZELOT,

RESPONSABLE PLANNING ET QUALITÉ



Héléne Rozelot

Quelle est votre mission à SOLEIL ?

Initialement, l'intitulé de mon poste était « chargée du planning de la mise en place du projet SOLEIL, et du suivi de ce planning ». C'était fin 2001, la construction de SOLEIL n'avait pas encore commencé, il y avait donc d'importants enjeux au niveau du planning ! Puis à partir de 2007, début de la phase d'exploitation de SOLEIL, s'est ajouté à ces missions - toujours d'actualité - un second volet : responsable qualité.

Etre en charge de la planification, c'est-à-dire ?

Parler avec les gens « de terrain », chargés de la mise au point d'un équipement ou d'un projet donné, afin d'évaluer la durée et la séquence des différentes tâches nécessaires à réaliser, ainsi que toutes les forces à mobiliser pour les mener à bien dans les délais imposés. Pour ce faire, trois types de contraintes doivent être pris en compte. Contraintes de temps bien sûr : vérifier si les différents plannings sont compatibles entre eux en mettant en parallèle

toutes les tâches à réaliser, puis identifier les risques de dérive, c'est-à-dire de retard, qui font glisser les dates fixées au départ (des surcharges de travail sur certaines équipes, par exemple). En effet il faut savoir quelles personnes vont être impliquées, mais également veiller à leur disponibilité, d'autant plus qu'une même équipe travaille souvent sur plusieurs projets. Ceci est de plus en plus vrai à SOLEIL car la construction de nouvelles lignes de lumière, par exemple, est menée de front avec les activités d'exploitation, de maintenance et d'accueil des utilisateurs ; il y a donc un nombre croissant de tâches à accomplir, avec des ressources en personnel constantes. Ensuite, des contraintes financières : il faut mettre en adéquation les grandes échéances liées aux projets et les jalons imposés de facturation (ex : projet EquipEx). Et enfin des contraintes technologiques : à SOLEIL des équipements innovants conçus suite à des études de R&D sont par définition fabriqués pour la première fois. On ne sait donc pas exactement combien de temps prendra leur réalisation. Cela implique, plus encore que d'habitude, d'être régulièrement en contact avec les équipes impliquées, pour préciser au mieux la durée du travail.

Vous avez ainsi une vision globale de l'avancement des projets

C'est en effet le but ! Grâce à toutes les informations que m'apportent les différents responsables et acteurs des projets, je mets souvent en évidence des « nœuds » qui menacent le bon déroulement de ces projets. Détectés assez tôt, il

est alors possible d'anticiper - en prévoyant de sous-traiter une tâche par exemple - et ainsi d'éviter le blocage. De telles décisions sont notamment prises suite aux rapports réguliers (tous les deux mois) que je présente à la Direction. J'effectue ce travail de synthèse de l'avancement des projets en collaboration avec Pascale Prigent, qui coordonne l'installation des équipements des lignes de lumière, et Philippe Eymard pour les Bâtiments et Infrastructures.

Et le volet « qualité », en quoi consiste-t-il ?

Il est double. Je dois veiller à ce que ce soit mis en place un ensemble de dispositions qui vont minimiser les risques au niveau organisationnel. Autrement dit, faire en sorte de « fluidifier » les choses, en termes de procédures de travail et de mécanismes de fonctionnement. À SOLEIL le fonctionnement est matriciel : les projets font appel à des équipes de Divisions différentes, regroupent des tâches très variées et le personnel travaille parfois en parallèle sur plusieurs projets. Afin d'éviter l'asphyxie et le stress il est important de définir des méthodes pour travailler le plus harmonieusement possible. Selon moi, impliquer davantage les personnes engagées dans un même projet transverse en les regroupant dans des « équipes projet », ce qui valorise tous les acteurs du projet et leur permet d'en avoir une vue d'ensemble, est par exemple une des voies à suivre. Des pratiques informelles existent, déjà efficaces, qui gagneraient à être formalisées - pourquoi réinventer à chaque fois ce qui a fait ses preuves ? On peut dire que ces actions font

partie d'une démarche « assurance qualité ». D'autre part j'ai en charge la mise en place d'une démarche que l'on peut qualifier d'« assurance produit » : mettre en œuvre des dispositions pour garantir la fiabilité des équipements, faire en sorte qu'ils soient conformes aux attentes. Un outil comme la GMAO, qui recense physiquement tous les équipements de SOLEIL, leur identité, configuration... permet de garder en mémoire un historique de vie de ces équipements et de dresser un bilan statistique de leur fonctionnement. Donc de leur fiabilité. On essaie ensuite de trouver des moyens (check list à consulter...) pour être plus rapidement opérationnel en cas de panne, ou de mettre en place une maintenance préventive.

Comment qualifieriez-vous votre métier ?

Il est extrêmement riche et varié en termes d'interactions, de relationnel, de tâches à accomplir. Cela me prend beaucoup de temps, et je suis en contact avec quasiment tout le personnel de SOLEIL ! Pourtant, au final, je travaille souvent seule : par exemple pour réaliser toutes les synthèses ; ce qui est parfois difficile. Et je peux avoir le rôle peu enviable de messagère de mauvaises nouvelles lorsque je dois annoncer qu'un projet se terminera plus tard que prévu... Mais quand je vois que de plus en plus de mes collègues sont sensibles aux aspects de planification et de qualité, qu'ils en comprennent l'utilité et l'intérêt, je me dis que c'est bientôt gagné !

→ **Contact :**
rozelot@synchrotron-soleil.fr

Les Relations Industrielles et la Valorisation à SOLEIL : contribuer au renforcement de la compétitivité des entreprises

Le positionnement

Dans le cadre de ses missions d'intérêt général, SOLEIL a la volonté d'être une source incontournable de recherche & développement et d'innovation technologique pour le monde économique.

Les deux principales missions du Groupe Relations Industrielles & VALorisation (GRIVAL), groupe support de l'ensemble des divisions de SOLEIL, concernent :

- La gestion des accès, notamment payants, des entreprises (industrielles et de services à l'industrie) aux équipements, aux compétences et aux services proposés par SOLEIL,
- La valorisation des connaissances générées à SOLEIL par ses activités internes de recherche scientifique, de développement technologique et d'innovation : R&D partenariale avec les entreprises, acquisition et gestion de propriété industrielle, transfert de savoir-faire ou de technologies vers des entreprises de production, création d'entreprises innovantes...

Le bilan des 4 premières années d'exploitation de SOLEIL (2008-2011)

Les actions récurrentes de promotion-prospection réalisées auprès des acteurs économiques correspondent en moyenne à une visite d'entreprise(s) à SOLEIL par semaine, une présence active à un salon ou une convention d'affaires chaque mois et une participation mensuelle aux réseaux recherche-

industrie (type pôles de compétitivité) ; elles génèrent chaque année plus de 600 échanges d'informations avec les entreprises.

Cette activité commerciale s'est traduite jusqu'à fin 2011 par une moyenne de 25 projets industriels par an, équi-répartis entre prestations payantes et projets sélectionnés en comités de programme, représentant environ 5 % du total des projets des utilisateurs externes de SOLEIL.

Concernant la valorisation des connaissances, le bilan de SOLEIL fin 2011 est le suivant : une quinzaine de partenariats industriels pour l'utilisation des lignes de lumière ou pour des projets de R&D, 4 transferts de savoir-faire vers des PMI françaises, le dépôt de 5 demandes de brevets et brevets internationaux en co-propriété avec des entreprises et des organismes de recherche publics, le dépôt de 3 enveloppes SOLEAU et l'étude d'un projet de création d'entreprise de services d'analyses environnementales.

Les perspectives pour 2012... et au-delà

SOLEIL a enregistré au cours de l'année 2012 une accélération de la demande industrielle d'analyses synchrotron, caractérisée par un triplement des prestations payantes. Outre la fidélisation des clients historiques, on observe l'entrée dans le portefeuille clients de prospects régulièrement informés et le renforcement de l'internalisation des demandes, principalement en Europe.

Côté valorisation des connaissances, l'année 2012 a notamment permis l'émergence d'une sixième invention menée en partenariat, d'une nouvelle opération de transfert de connaissances vers un industriel, d'un projet multipartenaires de création d'une plateforme de recherche et de services dans le domaine des cosmétiques et enfin d'un projet de création d'entreprise technologique.

→ **Contact :**
deblay@synchrotron-soleil.fr

SOLEIL propose aux entreprises :

- Des prestations d'analyses de matériaux complexes et de la matière vivante sur les lignes de lumière synchrotron,
- Des prestations technologiques (mesures magnétiques, nettoyage ultravide, métrologie optique, fabrication de micro-systèmes par lithographie profonde...)
- Des partenariats de recherche scientifique ou technologique, bipartites ou multipartites,
- Des transferts de connaissances pour l'industrialisation, la fabrication et la commercialisation de produits technologiques développés par SOLEIL.



ICES12



LA CONFÉRENCE ICES12 (INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRON SPECTROSCOPY AND STRUCTURE)

organisée par SOLEIL, s'est déroulée du 16 au 21 Septembre 2012 à St Malo, rassemblant près de 300 participants. Traditionnellement (première édition en 1971 à Asilomar, USA), cette conférence réunit les communautés de Physique des surfaces et de la Matière diluée autour de la compréhension des processus fondamentaux d'interaction

rayonnement/matière et des propriétés fondamentales de la matière, par spectroscopie d'électrons. Les conférences plénières ont bien illustré le dynamisme du domaine, soulignant les perspectives extraordinaires ouvertes avec les nouvelles sources cohérentes, mais également la complémentarité avec les sources synchrotron plus classiques qui permettent de pousser la résolution spectrale à ses limites. Les conférences inaugurales, dédiées aux approches théoriques, ont permis de bien analyser le potentiel et les limites actuelles des théories dans le domaine. Au cours de sessions parallèles ont été abordés les processus fondamentaux en physique atomique et moléculaire (localisation, effets quantiques de recul, dynamiques ultra rapides etc...), en physique des surfaces (corrélations électroniques, isolants topologiques, graphène), mais également des aspects à l'interface des deux domaines (réactivité, catalyse,

physico-chimie, nanoparticules, liquides), ce qui fut l'occasion d'échanges très fructueux entre les communautés. Les progrès de l'instrumentation, avec en particulier le développement d'analyseurs adaptés aux nouvelles sources, permettent maintenant d'approcher des phénomènes ultra-rapides (attoseconde), temps caractéristiques du mouvement des électrons. Parallèlement, la sophistication des environnements échantillon donne accès au couplage d'informations spectrales et spatiales, ainsi qu'à l'observation de la matière dans des conditions nouvelles (haute pression, liquides...). La conférence s'est conclue par une visite de SOLEIL qui a remporté un vif succès (environ 100 participants).

Nous tenons à remercier tout particulièrement la remarquable organisation pratique de la conférence, unanimement appréciée par les participants.



Colloque des Utilisateurs de SOLEIL 2013

LA HUITIÈME ÉDITION DU COLLOQUE DES UTILISATEURS DE SOLEIL (USERS' MEETING) aura lieu les 23 et 24 janvier 2013 à SOLEIL et à l'Ecole Polytechnique, Palaiseau.

Ce rendez-vous incontournable pour la communauté des utilisateurs du rayonnement synchrotron sera l'occasion de recueillir les dernières informations sur la machine, sur les performances des lignes, et de faire le point sur les prospectives à SOLEIL.

Il sera constitué de 3 conférences plénières couvrant différents thèmes de recherche de la communauté des utilisateurs de SOLEIL. Cette fois, les thèmes retenus sont : Patrimoine, Matière Diluée et Science des Matériaux.

Les tables rondes seront l'occasion d'échanges entre

les utilisateurs et les responsables de lignes.

Les sessions parallèles seront composées d'exposés scientifiques originaux, sélectionnés à partir des résumés soumis pour les présentations orales. Lors de la session posters, le meilleur poster étudiant se verra décerner un prix.

Un temps de convivialité sera organisé à SOLEIL le mercredi 23 janvier après-midi avec les stands d'entreprises et la visite du synchrotron.

Le workshop satellite SYREES 2013, SYNchrotron Radiation for Electrochemical Energy Storage, aura par ailleurs lieu les 21 et 22 janvier 2013.

➔ www.synchrotron-soleil.fr/Workshops/2013/SUM2013





SRI 2012 (Synchrotron Radiation Instrumentation)



DU 9 AU 13 JUILLET, LA CITÉ INTERNATIONALE DE LYON accueillait les représentants des synchrotrons du monde entier pour cette semaine de conférence internationale, dédiée à l'instrumentation pour les sources de rayonnement synchrotron et les lignes de lumière. Le programme scientifique, élaboré conjointement par SOLEIL et l'ESRF comptait quelque 140 interventions orales et 650 posters. Avec plus de 1000 participants venant du monde entier, cette édition 2012 de SRI bat tous les records de fréquentation depuis sa première édition au début des années 80. Cet événement permet de rassembler les utilisateurs, les chercheurs et ingénieurs, ainsi que les fournisseurs industriels des centres de rayonnement synchrotron. Comme dans les précédentes éditions de cette conférence, un nombre conséquent (près de 80) de jeunes chercheurs ont pu bénéficier d'une subvention accordée par la Région Rhône-Alpes, qui leur a permis d'être hébergés gratuitement dans une résidence. Plus de 70 industriels pour la plupart fournisseurs de hautes technologies pour tous les synchrotrons

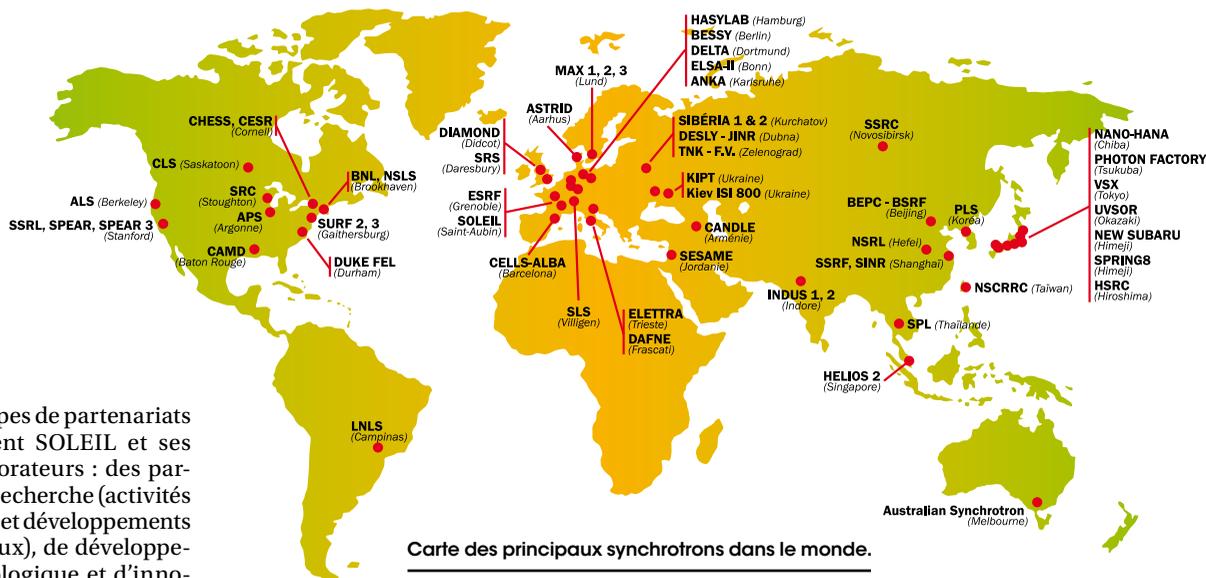


du monde ont animé l'espace exposition. Vous pouvez avoir une idée de l'ambiance de cette semaine consacrée à la science, la technologie et l'innovation en vous connectant à l'adresse www.sri2012.org La prochaine édition aura lieu en 2015 à New-York et, comme il est de tradition, le comité local d'organisation SOLEIL-ESRF de 2012 accompagnera nos collègues américains afin que le 12^e SRI connaisse le même succès.

👉 CHIFFRES CLÉS
4 JOURS DE CONGRÈS
1009 PARTICIPANTS
679 POSTERS
72 EXPOSANTS

Les partenariats de SOLEIL : imaginer, bâtir ensemble et réaliser

La recherche est définitivement une affaire collective et SOLEIL vit en constante interaction avec son environnement : ses communautés d'utilisateurs, ses homologues Européens et internationaux ainsi que les acteurs institutionnels, industriels, économiques et d'enseignement qui le sollicitent. Autant d'acteurs avec qui SOLEIL noue des partenariats.



Trois types de partenariats unissent SOLEIL et ses collaborateurs : des partenariats de recherche (activités de recherche et développements instrumentaux), de développement technologique et d'innovation, et enfin de formation et de diffusion de la culture scientifique.

Mettre en commun l'expertise, encourager l'innovation

Signe des temps, les partenariats de SOLEIL font aussi l'objet d'une contractualisation de plus en plus rigoureuse et attentive. On en dénombre plus de 70 depuis début 2011 (en augmentation d'environ 20 % par an), au total on avoisine les 200 depuis la création de SOLEIL et cela continue de s'accroître ! Depuis cette date par exemple, SOLEIL est partenaire de 4 nouveaux EQUIPEX (dont 1 en coordination, NANOIMAGES-X), de 4 LABEX (NanoSaclay, PALM, P2IO et PATRIMA), de 5 nouveaux projets ANR (dont 1 en coordination), de 5 nouveaux projets Européens (BioSTRUCT-X, CALIPSO, M3D, oPAC et LANIR), d'un Erasmus Mundus (SERP-Chem), d'une dizaine d'actions avec la Fondation de

Coopération Scientifique du Plateau de Saclay et d'une trentaine d'accords bilatéraux avec des industriels, des organismes ou associations de recherche et/ou d'enseignement.

Tous ces projets génèrent des entrées de ressources. Ainsi les partenariats conclus les années précédentes ont donné lieu à environ 800 k€ de ressources au budget 2011. Cependant n'oublions pas que :

- **les partenariats sont par principe des actions de recherche à frais partagés** – souvent à 50/50 – SOLEIL contribuant en nature ou sur ses fonds propres aux activités,
- **les collaborations soumises à appel à projet ne sont pas pérennes** ; exemple le consortium CECILIA2 n'a pas été prolongé par la Commission Européenne en 2011 et il a fallu attendre un an avant que l'accès transnational Européen nous soit de nouveau remboursé (CALIPSO).

Entrer, ou pas, dans une logique d'appels à projets

Nombre de nos partenariats sont en partie financés par des tiers extérieurs (ANR, Labex, Commission, ESF, régions, etc) sur la base d'appels à projets (44/an rien qu'à l'ANR!). Compte tenu du travail de préparation que représente la soumission d'un projet à ces appels, **il convient de peser les enjeux et les risques pour SOLEIL** en termes de stratégie scientifique, de positionnement au sein des partenaires du projet, de contraintes de gestion et aussi d'image. Quelques Euros glanés dans un projet peuvent se révéler ruineux à gérer pendant les 4 ou 5 années du contrat. À l'inverse, se raccrocher au dernier moment à un projet peut se révéler très profitable en termes non seulement de ressources mais aussi de nouvelles relations nouées !

À SOLEIL, la bonne démarche s'appuie sur des initiatives qui viennent des chercheurs, de leur

capacité à imaginer le futur, en un mot de leur « feeling ». À nous de trouver avec eux le cadre le plus adapté pour l'épanouissement de leurs projets de recherche, d'enseignement ou de transfert technologique.

Ceci ne nous empêche pas de réfléchir à des modèles de partenariats plus pérennes comme les plateformes thématiques de recherche et de services, à l'exemple de la plateforme IPANEMA pour les matériaux anciens que SOLEIL a imaginé en 2004 pour répondre à des besoins exprimés par des communautés scientifiques. Financée pour partie dans le cadre du CPER 2007-2013 avec la région Ile de France et l'Etat, elle est en cours de construction sur le site de SOLEIL et appartient désormais à un consortium de partenaires qui la feront grandir et évoluer.

➔ **Contact :**
webcom@synchrotron-soleil.fr

La relation sciences et société, un engagement quotidien



Des outils
de travail et
de découverte
pour tous.

Lieu de l'interdisciplinarité, SOLEIL a voulu répondre aux attentes de ses actionnaires et des partenaires en devenant un lieu d'échange et de diffusion de la culture scientifique et technique pour tous. SOLEIL est ainsi accessible tous les jours depuis le démarrage du projet en 2002 et développe des actions scientifiques, pédagogiques et grand public, en partenariat avec les acteurs les plus mobilisés dans le domaine : les Rectorats (plus particulièrement les Rectorats de Versailles et Orléans-Tours), les établissements scolaires, les associations, les collectivités territoriales, les médiathèques... Démystifier, décloisonner, participer à la transmission des connaissances, un autre travail de tous les jours pour les équipes de SOLEIL qui proposent à chacun de découvrir et de s'approprier à son rythme la science en train de se faire.

Chercheurs et médiateurs solidaires dans le dispositif

À SOLEIL, les classes de collèges ou de lycées, les étudiants, les riverains et le grand public sont présents en permanence sur le site et font maintenant partie du quotidien des équipes. Le rôle de ceux qui animent la recherche de SOLEIL est en effet essentiel dans le mécanisme de transmission et de dialogue autour des connaissances que SOLEIL a élaboré.

Ainsi, le cahier des charges de la médiation scientifique de SOLEIL vise à créer une dynamique où connaissances acquises, savoirs vécus et pratiques expérimentales peuvent visiblement s'enrichir. Le chercheur n'est pas le dépositaire d'un savoir absolu, mais la personne-ressource : il ou elle donne vie au contenu en l'inscrivant dans sa démarche concrète et permet la découverte du lien, par exemple, entre ce qui est appris en classe et ce qui se passe

dans un centre de recherche. La poursuite d'un partenariat depuis 10 ans avec le Rectorat de Versailles est, en la matière, totalement indispensable. L'éducation non formelle collabore et complète ainsi le travail des enseignants, partie prenante du dispositif. Pour SOLEIL le respect de tous les savoirs, de toutes les démarches, académiques ou auto-didactes, guide la relation au quotidien. L'expérience de 10 ans de médiation contredit le leitmotiv de la défiance du public envers la science et les scientifiques.

SOLEIL, un centre
de recherche
ouvert tous
les jours à tous
les publics.

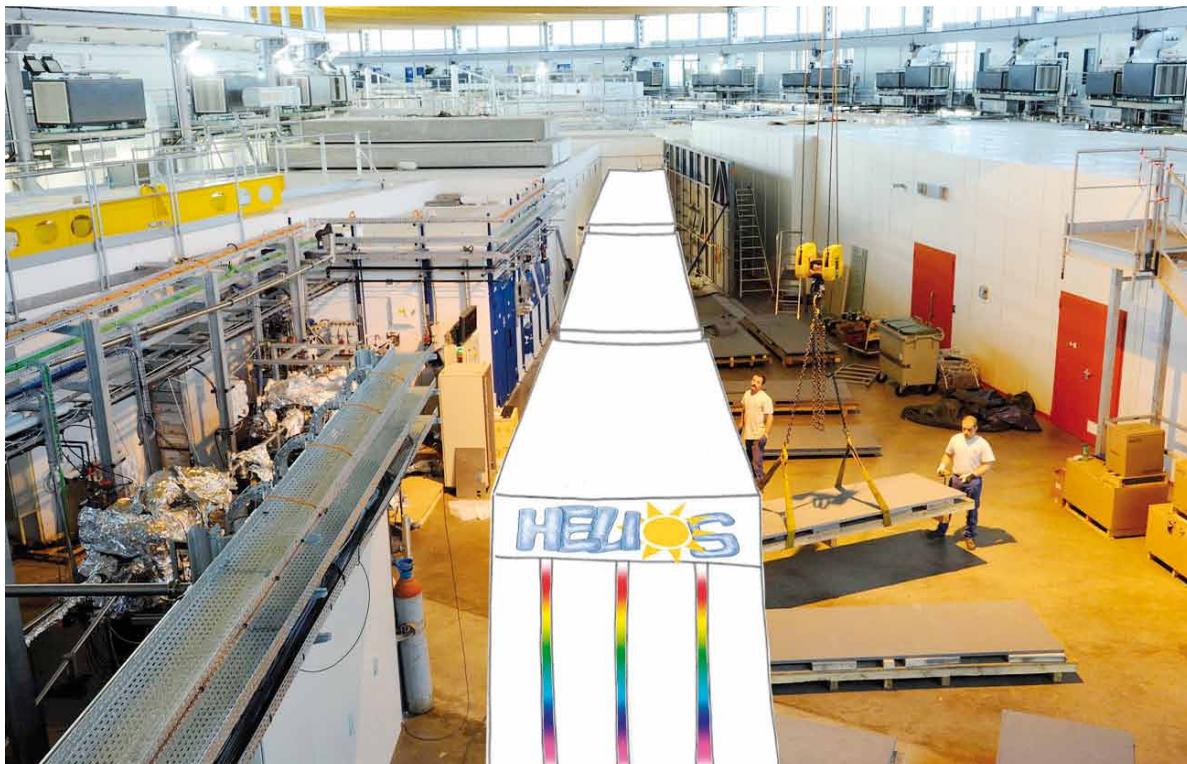


Suite page 32...

... Suite de la page 31

HELIOS, un projet de ligne de lumière dédiée à la formation et la médiation.

Le SOLEIL Pursuit, une idée folle d'un jeu de piste grande réelle dans le synchrotron ; soutenu une nouvelle fois par la Région Ile-de-France pour son démarrage, ce programme annuel est en train de devenir permanent.



La science ensemble, la science autrement

Bus des sciences, théâtre scientifique, animations dans le métro et sur les marchés, mallettes pédagogiques, ateliers de « manips » et conférences à la carte... pour accompagner cette démarche, la boîte à

outils SOLEIL s'enrichit chaque année à la demande des publics eux-mêmes. Tous les supports produits, toutes les actions organisées par SOLEIL ou auxquelles il participe, sont issus d'une demande du terrain. Car ils sont déjà plusieurs dizaines de milliers à nous avoir rencontrés sur site, en des occasions particulières ou plus classiques (fêtes de la science dans toute l'Ile-de-France, Forums de métiers en Essonne et ailleurs, Rond-point des sciences dans la cité, journées scientifiques...).

À chaque fois, un seul maître mot : « l'écoute », des questions du public, de ses doutes et de ses attentes. À SOLEIL chacun est porteur de cette attention. Comme toujours, certains ont été durs à convaincre mais tous ceux qui ont fait l'expérience du dialogue concret avec le public sont revenus enthousiastes et sont aujourd'hui les plus ardents porteurs de cette action. Enthousiasme communicatif, comme en témoi-

➤ CHIFFRES CLÉS

PLUS DE 30 000 VISITEURS
10 MODULES PÉDAGOGIQUES THÉMATIQUES (KITS ENSEIGNANT/ÉLÈVE-VIDÉOS ET AUTRES MULTIMÉDIA ASSOCIÉS)
8 EXPOSITIONS EN PRÊT GRATUIT (SYNCHROTRON, LUMIÈRE/MATIÈRE, CHIMIE, ÉNERGIE...)
ET 5 ATELIERS EXPÉRIMENTAUX COORDONNÉS.

gnent nos visiteurs, en particulier les enseignants qui, année après année, reviennent avec de nouvelles classes et nous suggèrent des améliorations, de nouvelles thématiques.

Parvenir aujourd'hui à rendre plus familières les thématiques et les techniques que nous développons, c'est autoriser le public à pouvoir aller plus loin chez lui, à l'école, au musée. C'est finalement pour SOLEIL tout le sens de son action de partage des savoirs scientifiques.

➔ www.synchrotron-soleil.fr

