

N°25

# LE RAYON DE SOLEIL

LE JOURNAL DU SYNCHROTRON

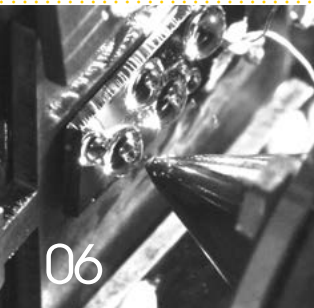


## Lumière **sur les enjeux** du **XXI<sup>e</sup> siècle**

**04 LA RECHERCHE À SOLEIL**  
Intégration des nano-aimants : étude de l'aimantation en surface

**12 SAVOIR FAIRE**  
Bibliothèque et Bureau des Utilisateurs de SOLEIL

**28 DU SOLEIL DANS NOTRE VIE**  
Lumière vers le Primaire



06

**04****LA RECHERCHE À SOLEIL**

Intégration des nano-aimants : étude de l'aimantation en surface



09

**07**

Photoémission à pression proche de l'ambiante et sciences de l'environnement

**09****SAVOIR FAIRE**

Le Laboratoire Hautes Pressions

**15****DOSSIER Lumière sur les enjeux du XXI<sup>e</sup> siècle**

15

**22****INNOVATIONS**

L'insertion professionnelle des jeunes diplômés dans l'industrie : un enjeu stratégique pour SOLEIL

**24****LA SCIENCE ENSEMBLE**

Une nouvelle année d'animation scientifique à SOLEIL



24

**26****LES COLLOQUES****28****DU SOLEIL DANS NOTRE VIE**

Lumière vers le Primaire



28

**Pour vous abonner**

au Rayon de SOLEIL rendez-vous sur

[www.synchrotron-soleil.fr](http://www.synchrotron-soleil.fr)

l'édito

**Jean Daillant  
Directeur Général**

2015, Année Internationale de la Lumière sur décision de l'ONU, fut l'occasion de nombreux événements dont SOLEIL a été l'acteur, comme, par exemple, la conférence de Sylvain Ravy, « Comment la lumière est devenue une onde » en juin, ou la fête de la Science en octobre. En parallèle, en partenariat avec le Rectorat de l'Académie de Versailles, SOLEIL est allé à la rencontre des écoles primaires en créant le projet Lumière(s) Primaire(s), pour susciter des vocations scientifiques chez les plus jeunes et attiser leur esprit d'investigation. Nous les retrouverons peut-être, un jour, en tant qu'utilisateurs ou scientifiques sur nos lignes de lumière... Des lignes qui sont cette année encore plus nombreuses à accueillir des communautés utilisatrices : avec ROCK et NANOSCOPIUM, elles sont à présent 27. Quant à la ligne HERMÈS, dont la station XPEEM (X-ray PhotoEmission Electron Microscopy) est ouverte depuis l'été, elle a tout récemment mis en route son nouvel instrument de microscopie X à balayage en transmission (Scanning Transmission X-ray Microscope, STXM) et les performances, en particulier la résolution spatiale, sont extrêmement prometteuses. La station a ainsi pu accueillir avec succès ses premiers utilisateurs.

Cette année 2015 a également été décisive pour le climat, avec la tenue de la COP21 à Paris, et nous avons choisi de vous montrer comment la recherche à SOLEIL, qu'elle soit mise en œuvre par nos utilisateurs ou par nos chercheurs, contribue à apporter des réponses aux problématiques sociétales actuelles. C'est l'objectif de notre dossier « Lumière sur les enjeux du XXI<sup>e</sup> siècle », qui vous donnera un panorama – non exhaustif – des techniques et équipements développés à SOLEIL dans le cadre de ces thématiques. Ce potentiel sera encore enrichi en 2016 puisque ce sera au tour de la ligne ANATOMIX d'accueillir ses premiers utilisateurs, suivie en 2017 par PUMA.

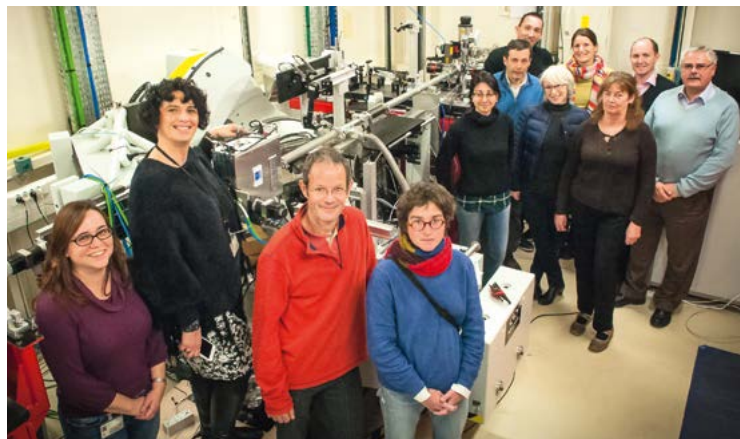
Je vous souhaite une très belle année 2016.

## EN BREF

## FEMTO-SLICING

## Une étape supplémentaire franchie sur CRISTAL

Une partie des acteurs de la réussite de cette étape, réunis dans la cabine d'expériences de CRISTAL.



Un pas de plus a été fait vers les études de dynamiques structurales ultrarapides à SOLEIL. Après la première interaction entre une impulsion laser femto-seconde et l'un des paquets d'électrons circulant dans l'anneau de stockage, observée fin 2014, les premières impulsions ultra-courtes de rayons X ont été détectées sur la ligne CRISTAL le 5 octobre 2015. Contrairement aux autres installations de femto-slicing existant dans le monde, le dispositif de SOLEIL fournira des impulsions de rayons X femtosecondes à plusieurs lignes, de façon à couvrir la gamme d'énergie des photons X. Après CRISTAL viendra bientôt le tour de TEMPO.

Aline Passos, de l'Unesp de Araraquara (Brésil), première utilisatrice officielle de ROCK, en mars 2015.



26 ET 27 !

## Premiers utilisateurs sur ROCK et Nanoscopium

En mars 2015, la ligne ROCK (*Rocking Optics for Chemical Kinetics*), dédiée à l'étude des processus cinétiques rapides sur des nanomatériaux utilisés principalement dans le domaine de la catalyse et des batteries, a été la 26<sup>e</sup> ligne de SOLEIL à ouvrir ses portes à ses premiers

utilisateurs extérieurs. Au total, 15 projets auront été accueillis cette année. Puis en juin ce fut le tour de Nanoscopium. Grâce à des expériences de micro- et nano-sondes X à balayage avec une résolution spatiale de 30 nm à 1  $\mu$ m, cette ligne offre des possibilités de recherches uniques basées sur l'analyse élémentaire qualitative, chimique et structurale 2D/3D. Les domaines d'étude sont multiples : microélectronique, matériaux, environnement, sciences biomédicales et géo-biologiques.



### CLIMAT

En cette année cruciale pour le climat, avec la COP21 à Paris, SOLEIL a favorisé

les discussions sur cette thématique en accueillant notamment les 150 participants du colloque scientifique « Objectif climat » organisé le 12 novembre par l'Université Paris-Saclay. Ce fut l'occasion de revenir en poster sur les travaux menés à SOLEIL dans ce domaine. En soirée, un débat public animé par Valérie Masson-Delmotte (LSCE, CEA Saclay) a permis de faire connaître le potentiel scientifique interdisciplinaire existant autour de la problématique du climat.

### LIVRE

La technique de photoémission permet d'étudier les propriétés physicochimiques et électroniques des surfaces, en donnant accès à la structure de bande des matériaux. Antonio Tejada, chercheur au LPS (Orsay) et associé à SOLEIL (ligne CASSIOPEE) est co-auteur avec Daniel Malterre (IJL, Univ. De Lorraine), du livre « Photoémission dans les solides. Concepts et applications » (EDP Sciences), qui cible un public allant des étudiants de licence aux chercheurs spécialistes de la technique.

DEIMOS

# Intégration des nano-aimants :

## étude de l'aimantation en surface

À l'échelle du nanomètre, la matière se réinvente et de nouvelles propriétés apparaissent. Dans le domaine du magnétisme, l'effet de taille associé à des effets de forme ont fait du nanomagnétisme une discipline fascinante à de nombreux niveaux. Cependant, plus la taille des nano-objets diminue, et plus leur caractérisation devient difficile. Ligne de lumière à la pointe dans ce domaine, DEIMOS offre des techniques de mesures magnétiques basées sur l'absorption des rayons X polarisés permettant ce type d'études.

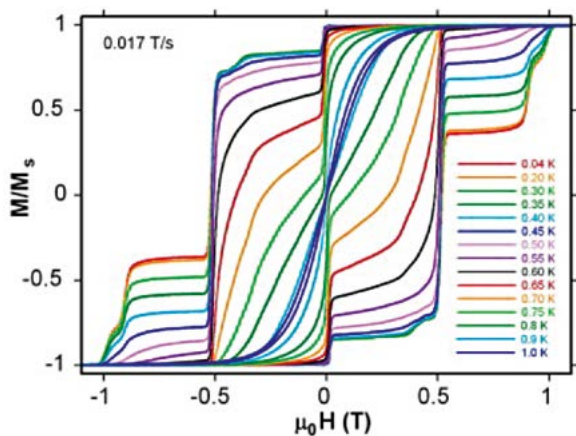


Figure 1. Courbes d'aimantation (aimantation de l'échantillon en fonction du champ magnétique appliqué) de molécules aimant de type  $Fe_4$  isolées sur un monocristal d'or et mesurées par magnétométrie microSQUID (avec une vitesse de balayage du champ magnétique de 0,017 Tesla/s et à des températures  $\leq 1$  Kelvin). La présence de courbes d'hystérésis montre la bistabilité magnétique des  $Fe_4$  à des températures  $\leq 1$  K; la forme en « marches d'escalier » de ces courbes prouve que la dynamique de spin est dominée par les effets quantiques [réf.1].

**A**ujourd'hui on retrouve les nanoparticules magnétiques dans des applications variées, de l'environnement aux thérapies contre le cancer, mais aussi dans le développement des futures générations de dispositifs pour le stockage de

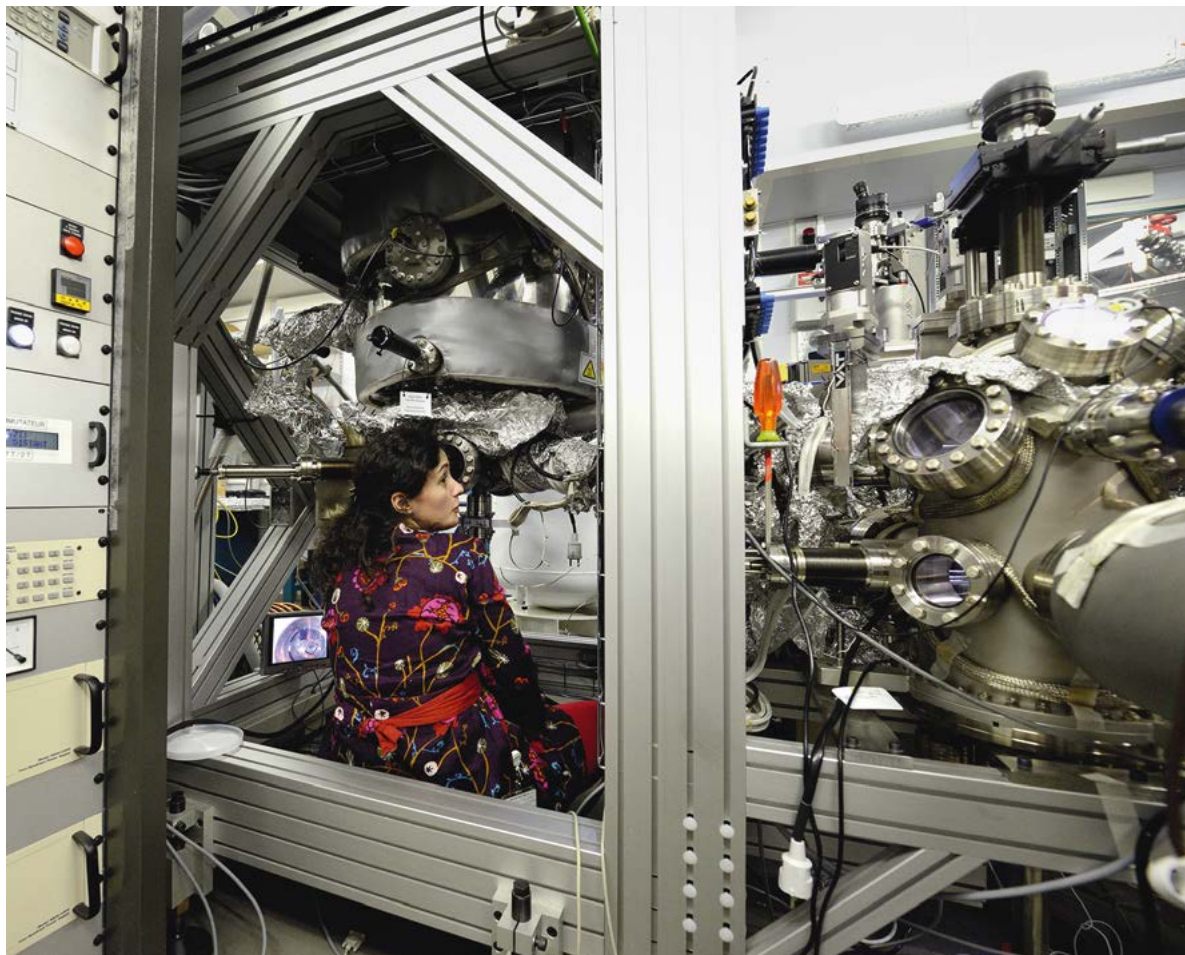
l'information. Cependant, les techniques standard de magnétométrie donnent des informations « macroscopiques » sur les systèmes étudiés. Il leur est ainsi difficile de distinguer la contribution de chaque élément dans un alliage ou de détecter des quantités infimes de matière telles que rencontrées dans les nano-structures. C'est pour toutes ces raisons que les méthodes de mesures magnétiques basées sur l'absorption des rayons X polarisés (circulaires et linéaires; cf. encadré) sont devenues indispensables à la progression de cette discipline.

### Molécules aimants

Les SMM, Single Molecular Magnets (« molécules aimant ») sont parmi les plus petits assemblages magnétiques connus. Composée d'un petit nombre d'atomes dont quelques ions paramagnétiques, cette nouvelle classe « d'aimants » fournit une opportunité unique d'observer la coexistence de propriétés classiques et quantiques (cf. fig. 1; réf.1). En effet, bien que certaines molécules dans leur état fondamental soient magnétiques, elles peuvent dans certains cas présenter des effets tunnel quantique de l'aimantation, faisant d'elles de sérieuses concurrentes dans la course vers les nouvelles générations de dispositifs dédiés au stockage de

données et basés sur l'électronique de spin (réf.2). Cependant, si ces effets ont pu être observés dans le cas de poudres de SMM, pour parvenir à de telles applications technologiques il faut pouvoir démontrer que leurs propriétés persistent lorsqu'on isole les molécules sur une surface. En 2009 grâce à une collaboration entre le groupe de R. Sessoli (Département de Chimie, Université de Florence, Italie) et Ph. Saintavrit (IMPMC-CNRS, Université Pierre et Marie Curie, France et associé à la ligne DEIMOS), cet effet « mémoire » à l'échelle d'une molécule a pu être mesuré pour la première fois (réf.3).

Cette étape essentielle vers l'application technologique d'une mémoire moléculaire n'avait rien d'évident. La molécule, un cluster de 4 atomes de Fer (III) doté d'une structure de type hélice d'avion, a dû être fonctionnalisée par une chaîne carbonée pour permettre à la molécule de s'attacher à la surface du substrat, ici un monocristal d'or. Puis il a fallu l'extrême sensibilité de surface et la sélectivité chimique de l'XMCD (cf. encadré) pour réussir à mesurer cette infime quantité de matière répartie dans une monocouche. Et fait remarquable, comme les mesures XMCD peuvent être réalisées à des températures inférieures



Edwige Otero, scientifique de ligne sur DEIMOS, au pied de la station expérimentale CroMag.

à 1 Kelvin, il a aussi été possible d'observer les phénomènes quantiques, mesurés jusqu'ici uniquement sur des poudres.

Dans la continuité de ces travaux, des mesures en XNLD (dichroïsme naturel linéaire des rayons X) ont été faites pour corréler la longueur de la chaîne carbonée avec l'agencement structurel des molécules adsorbées à la surface du monocristal d'or. Les chercheurs sont ainsi parvenus à démontrer que les chaînes courtes favorisent la croissance de films ordonnés (réf.4). En outre, ces molécules d'ordre structurel élevé, présentent alors des températures d'anisotropie magnétique plus importantes. Ces résultats exceptionnels démontrent que les SMM peuvent être

optimisées de manière à être intégrées à des dispositifs électroniques.

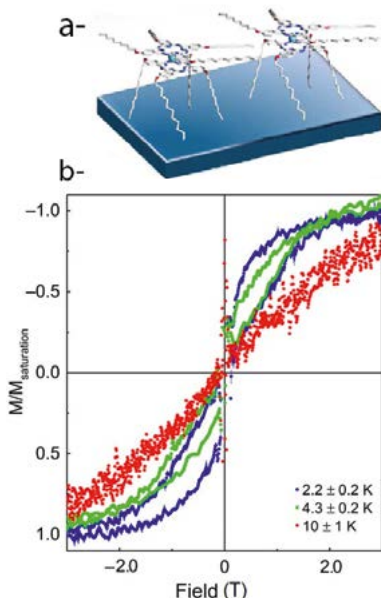
### Vers des bits quantiques et memristance moléculaire

Aussi, grâce à la sélectivité chimique des spectroscopies d'absorption de rayons-X utilisées, il a également été possible d'étudier les interactions entre les molécules et le substrat (or, cuivre, nickel, silicium), information capitale en vue d'une application technologique. Ainsi, des molécules de type « sandwich » à base de lanthanides, ici  $TbPc_2$  (une famille de SMM dans laquelle un atome de terbium est pris entre deux cycles de phthalocyanine) ont été étudiées sur la ligne DEIMOS. À nouveau la molécule  $TbPc_2$  a été fonctionnalisée

de manière à favoriser son organisation à la surface du substrat, ici du silicium (cf fig. 2-a). Une augmentation importante et inattendue de la stabilité magnétique de la molécule ainsi isolée en monocouche a alors été mesurée (cf fig. 2-b ; réf.5), très certainement due à la proximité du silicium. Grâce à ces travaux, les scientifiques sont ainsi parvenus à transférer leur compréhension de phénomènes fondamentaux en applications technologiques, dont certaines très anticipées telles que les bits quantiques.

Un autre exemple de recherches menées dans le but de réaliser des dispositifs de taille nanométrique destinés au stockage de l'information est le premier prototype de memristance moléculaire,

**Figure 2.**  
**a - Représentation schématique de molécules de  $TbPc_2(OC_{11}H_{21})_8$  adsorbées sur silicium par des chaînes de 11 atomes de carbone.**  
**b - Courbes d'aimantation XMCD d'une monocouche de molécules de  $TbPc_2(OC_{11}H_{21})_8$  assemblées sur silicium (enregistrées au seuil  $M_s$  du terbium et avec une vitesse de balayage du champ magnétique de 0,05 Tesla/s) [réf.5].**



recherches menées sur la ligne DEIMOS par des chercheurs de l'Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg (IPCMS) et de L'Institut Technologique de Karlsruhe (KIT). Les chercheurs ont mesuré par XMCD l'alternance entre un état haut-spin/haute conduction et un état bas-spin/basse conduction à l'échelle d'une

molécule (réf.6). En ajoutant ainsi une fonctionnalité de spin aux interrupteurs moléculaires ils sont parvenus à démontrer la faisabilité d'appareils moléculaires pour la spintronique.

→ **Contact :**  
**edwige.otero@synchrotron-soleil.fr**

#### Références :

- 1- A. Cornia et al. 2008. Inorganica Chimica Acta 2008, Vol. 361, p 3481-3488.
  - 2- D. Gatteschi & R. Sessoli 2003. Angewandte Chemie Int. Ed. 2003, Vol. 42, No. 3 p 243.
  - 3- M. Mannini et al. 2009. Nature Materials 2009, 8, p 194.
  - 4- M. Mannini et al. 2010. Nature 2010, 468, No. 7322, p 417.
  - 5- M. Mannini et al. 2014. Nature Communications 2014, 5, No. 5582.
  - 6- T. Miyamachi et al. 2012. Nature Communications, 3, N° 938.
- [www.synchrotron-soleil.fr/Recherche/LignesLumiere/DEIMOS](http://www.synchrotron-soleil.fr/Recherche/LignesLumiere/DEIMOS)

Le dichroïsme magnétique circulaire des rayons X (XMCD en anglais) a été observé pour la première fois en 1986 (un an après sa prédiction théorique). Il repose sur l'absorption préférentielle par des matériaux magnétiques de rayons X polarisés circulairement à gauche ou à droite. Lié à l'état de spin des atomes absorbants, il permet de sonder la structure magnétique de ces atomes. D'autre part, l'absorption des rayons X étant dépendante de l'énergie, le XMCD renseigne aussi sur la configuration électronique de chaque atome présent dans la matière sondée (on parle alors de sélectivité chimique). Dans certains cas, l'XMCD peut également permettre de distinguer entre les différentes contributions à l'aimantation, comme le moment magnétique de spin et d'orbite. Aujourd'hui, presque tous les synchrotrons du

monde ont des lignes de lumière dédiées à l'XMCD. À SOLEIL, la ligne DEIMOS a été optimisée pour réaliser des études XMCD dans la gamme des rayons X mous (350eV-2500eV). En analysant uniquement les premiers nm de la matière, cette technique s'est fait une place dans la communauté des nanomatériaux magnétiques, dont font partie les aimants moléculaires.

Les spectres XMCD sont obtenus par la différence entre deux spectres d'absorption X ayant le vecteur de polarisation circulaire orienté soit parallèlement soit antiparallèlement au champ magnétique extérieur. Ainsi cette technique est très sensible à la stabilité du faisceau (en énergie, en flux et en polarisation) et la reproductibilité (capacité de répéter les mêmes scans XMCD sans modification du signal) est

un facteur clé pour une ligne XMCD de pointe, telle que DEIMOS. De plus, l'environnement échantillon sur DEIMOS a été conçu spécifiquement pour des études en nano-magnétisme : il offre la possibilité d'appliquer un champ externe atteignant 7 Tesla, un porte échantillon refroidi jusqu'à 1,5K et des conditions de préparation similaires à celles d'un laboratoire de recherche, incluant une boîte à gants, une chambre d'épitaxie par jet moléculaire (MBE) avec des cellules d'évaporation pour métaux et molécules, et plusieurs outils de caractérisation en ultravide in situ (ex : un microscope à effet tunnel (STM) à température variable, une optique de diffraction des électrons lents (LEED), un analyseur Auger).

TEMPO

# Photoémission à pression proche de l'ambiante et sciences de l'environnement

## Où vont les ions à l'interface vapeur-solution ?

Grâce à un équipement développé sur la ligne TEMPO par l'équipe « Surfaces fonctionnelles et environnementales » du Laboratoire de Chimie Physique Matière et Rayonnement (UPMC, Paris), il est possible de faire des mesures de photoémission induite par rayons X à des pressions beaucoup plus élevées que celles de l'ultra vide ( $10^{-10}$  mbar), et pouvant atteindre 20 mbar. De quoi se rapprocher des conditions de la « vie réelle », et permettre par exemple des applications en sciences de l'environnement.

Lorsque des rayons X monochromatiques sont envoyés sur un échantillon, des électrons sont émis dans le vide. La mesure de leur énergie cinétique permet, par conservation de l'énergie, de mesurer l'énergie d'ionisation des niveaux électroniques dont ils proviennent. La distribution en énergie des photoélectrons, mesurée à haute résolution ( $< 1$  eV), fournit de précieuses informations sur les espèces atomiques présentes mais aussi sur leur environnement chimique. Cette découverte a valu à Kai Siegbahn le prix Nobel de Physique en 1981. La technique, appelée X-ray Photoemission Spectroscopy (XPS), est devenue l'un des outils majeurs d'étude des surfaces. En effet, dans la matière condensée, le parcours moyen inélastique des photoélectrons  $\lambda$ , qui détermine la profondeur sondée, peut être très court (pour une énergie cinétique entre 50 et 100 eV,  $\lambda$  est de quelques couches atomiques). Le caractère accordable du rayonnement synchrotron, joint à son intensité, en font la source de choix des études de photoémission. Jusqu'à une date récente, la XPS a été limitée à des études de surface en conditions d'ultra vide ( $< 10^{-8}$  mbar)

rendant impossible l'étude des interfaces gaz/matière condensée. Toutefois, une véritable percée technologique a permis de porter la pression maximale d'utilisation dans la gamme des 20 mbars ( $\sim$  pression de vapeur de l'eau, à  $t^\circ$  ambiante). Ainsi le fossé de pression entre l'ultravide et les surfaces de la « vie réelle », celles de la catalyse ou de la chimie environnementale, peut-il être enfin franchi.

### Pour que la pression monte...

Dans les nouveaux spectromètres fonctionnant à pression proche de l'ambiante (near ambient pressure XPS, NAP-XPS), la distance entre la surface à étudier et l'analyseur est de l'ordre de 1 mm seulement, afin de minimiser la diffusion inélastique des électrons par la phase gazeuse. Il faut aussi assurer un pompage très efficace des lentilles d'entrée de l'analyseur, pour passer très rapidement de 20 mbar dans la chambre d'analyse à  $10^{-8}$  mbar au niveau de la détection. Une exploitation ingénieuse de l'optique électronique, c'est-à-dire de ses points focaux, permet de diviser la lentille en trois compartiments de pompage. Les



Figure 1. Gouttelettes d'eau formées sur une surface d'or dans la chambre d'analyse pendant l'acquisition ( $P = 8$  mbar,  $T = 278$  K). Les rayons X mous de la ligne TEMPO arrivent par la droite. La buse conique, percée d'un orifice de 0,3 mm et pointant sur la gouttelette, est approchée à une distance de 1 mm [réf.1].

photoélectrons émis depuis la surface de l'échantillon sont récoltés à travers un orifice d'environ 0,3 mm de diamètre percé dans une « buse » conique (Fig. 1). Les contraintes géométriques (distance surface/échantillon, diamètre de l'orifice) imposent que le spot X soit de petite taille pour que le maximum d'électrons soit récolté : le diamètre de faisceau de 0,1 mm, obtenu sur la 2<sup>e</sup> branche de la ligne TEMPO, répond à cette demande. En outre, le grand flux de photons compense l'atténuation du signal par la phase gazeuse. Le fonctionnement de la NAP-XPS est donc optimisé sur synchrotron et la ligne TEMPO, par sa stabilité positionnelle, sa gamme énergétique (50 à 1500 eV) et son flux, est parfaitement adaptée à ce type d'expérience.

## Un équipement spécifique et unique

L'une des spécificités de l'équipement du Laboratoire de Chimie Physique, Matière et Rayonnement (LCPMR) installé sur TEMPO réside dans un dispositif d'introduction du faisceau dit « sans-fenêtre » isolant la chambre d'analyse de la ligne de lumière, qui doit rester sous ultra-haut vide. En effet, le faisceau X de la ligne passe par une série de compartiments pompés de façon différentielle. Le flux de photons incident n'est alors pas atténué par les seuils d'absorption des éléments constitutifs des membranes de nitrure de silicium ou d'aluminium. L'optique électronique de la détection, spécialement conçue pour la NAP-XPS, est caractérisée par des résolutions en angle et en énergie comparables à celles d'un dispositif ultra-vide « classique ». L'une des applications principales de l'équipement est l'étude de réactions catalytiques à des pressions comparables à celles utilisées dans les réacteurs réels. Toutefois, l'exemple décrit ci-dessous correspond à une application originale en chimie environnementale.

## Reproduction d'aérosols marins sur TEMPO

Pendant longtemps, les surfaces des solutions électrolytiques ont été vues comme des surfaces appauvries en ions, proches de celle de l'eau pure (modèle d'Onsager-Samaras). Cependant, ces dix dernières années la théorie et les expériences en ont donné une image très différente, avec une séparation des ions à la surface de l'eau, les « gros » ions halogènes tendant à s'accumuler à l'interface liquide/vapeur. Cette observation est très pertinente dans les systèmes environnementaux : la ségrégation des ions à la surface des aérosols marins a un impact très fort en chimie atmosphérique. Comme il s'agit d'étudier la surface de solutions salines, de l'eau liquide est condensée à la surface d'un substrat d'or sur lequel un sel est déposé. L'échantillon est refroidi à 8°C. Lorsque la vapeur d'eau est introduite dans la station expérimentale sous une pression de 8 mbar, on observe une déliquescence des cristaux de sels jusqu'à ce que des gouttelettes liquides se forment (fig 1). La solution est prête à être étudiée. Il est alors possible d'obtenir des informations sur le profil de distribution des ions, depuis la surface de l'eau jusqu'aux couches plus profondes, en jouant avec l'énergie cinétique des électrons (déterminée par l'énergie d'excitation  $h\nu$  des photons), et donc avec leur libre parcours moyen inélastique  $\lambda$ . Ce procédé, utilisé classiquement pour déterminer un profil atomique dans un solide, peut ainsi être facilement appliqué aux solutions. La figure 2 présente la fenêtre énergétique des orbitales Na 2p / O 2s. Il est ainsi possible d'identifier les électrons provenant des atomes de sodium et ceux provenant de l'oxygène de l'eau. Une série de mesures est faite en changeant l'énergie des photons (l'énergie cinétique des électrons émis). Plus l'énergie cinétique des photoélectrons est élevée, plus la profondeur sondée est grande. On observe alors que le rapport d'intensité des niveaux Na 2p et O 2s varie avec l'augmentation de l'énergie cinétique des photoélectrons. Après avoir pris en compte les variations de section efficace de photoémission, les données montrent que ce changement d'intensité relative résulte essentiellement de l'accumulation d'ions

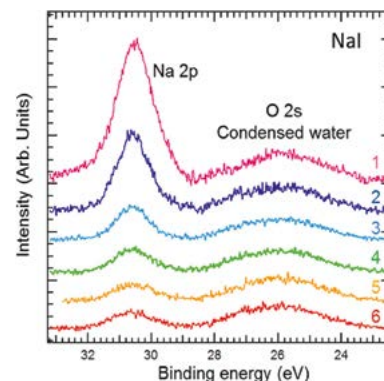


Figure 2. Spectres XPS Na 2p and O 2s d'une solution de NaI saturée, mesurés à différentes énergies de photons. Le substrat d'or est polarisé à  $-40$  V (pour éliminer la composante O 2s de l'eau vapeur). L'humidité relative est de 95% ( $P = 8$  mbar,  $T = 278$  K). Les spectres sont normalisés par rapport à l'intensité du pic O 2s, et un déplacement vertical (en intensité) est ajouté pour rendre la figure plus lisible. L'énergie de liaison est rapportée au niveau de Fermi du substrat d'or. (1)  $h\nu = 200$  eV,  $\lambda \approx 13$  Å; (2)  $h\nu = 400$  eV,  $\lambda \approx 17$  Å; (3)  $h\nu = 600$  eV,  $\lambda \approx 20$  Å; (4)  $h\nu = 800$  eV,  $\lambda \approx 23$  Å; (5)  $h\nu = 1000$  eV,  $\lambda \approx 33$  Å; et (6)  $h\nu = 1200$  eV,  $\lambda \approx 50$  Å. Les valeurs de  $\lambda$  sont déterminées théoriquement pour l'eau liquide pure.

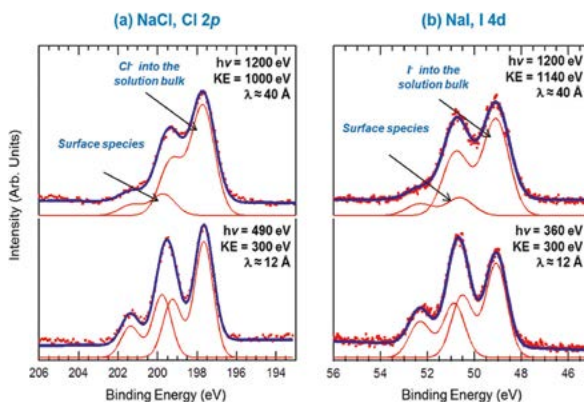


Figure 3. (a) spectres Cl 2p d'une surface de solution saturée de NaCl (6M) ; (b) spectres d'une surface de solution saturée de NaI (11M), mesurés pour 2 énergies de photon, à un taux d'humidité de 95% ( $P = 8$  mbar,  $T = 278$  K). L'énergie de liaison est indiquée en référence au niveau de Fermi mesuré sur le substrat d'or. Les parcours inélastiques moyens ( $\lambda$ ) sont déterminés théoriquement pour l'eau liquide pure.

$\text{Na}^+$  à proximité de la surface de la solution NaI. Cette observation est également vraie pour la solution NaBr, mais pas pour la solution NaCl. Les résultats de dynamique moléculaire montrent que, pour des anions très polarisables (comme les « gros » anions brome et iode), un plan de cations vient se former derrière celui de l'anion, près de la surface du liquide, afin de recréer l'électronneutralité de la solution. Ceci est en excellent accord avec l'expérience qui montre qu'une double couche d'anions/cations ne se forme que pour NaI et NaBr. C'est la première fois qu'une mesure de XPS démontre la validité des calculs de dynamique moléculaire. Si l'on s'intéresse maintenant aux orbitales de cœur des ions halogènes  $\text{Cl}^-$  et  $\text{I}^-$  (fig. 3), on observe clairement deux environnements chimiques différents. La composante dite de surface (à énergie de liaison plus grande) voit son poids spectral augmenter en condition de grande « sensibilité » à la surface. Ceci prouve que les anions à la surface ont une couche de coordination aqueuse différente de celle qu'ils ont à l'intérieur de la solution.

→ **Contacts :**  
francois.rochet@upmc.fr  
jean-jacques.gallet@upmc.fr

Référence :  
Tissot, H. et al.  
(2015)  
Journal of  
Physical  
Chemistry C,  
119 (17), 9253.

http://www.  
synchrotron-  
soleil.fr/  
Recherche/  
LignesLumiere/  
TEMPO



## ZOOM SUR

# Le Laboratoire Hautes Pressions

## Diamants et expertise au service des scientifiques

Ouvert aux utilisateurs depuis maintenant quatre ans, le Laboratoire Hautes Pressions (LHP) fournit, comme son nom l'indique, le matériel nécessaire à la réalisation d'études dans des conditions de pression extrême, ainsi que l'expertise associée. Sa spécialité : les cellules hautes pressions. Dans ces cellules, l'échantillon à étudier est placé entre deux diamants dont la pointe plane a un diamètre de 100 à 400 microns. Entre ces deux pointes est placée la chambre expérimentale, formée d'un joint en acier inox ou en rhénium (suivant le domaine de pression à explorer), percé par micro-électroérosion sur un diamètre de 50 à 200 microns. On y place ensuite l'échantillon, qui pourra, de plus, être soumis à un rayon laser pour une montée en température, ainsi qu'un rubis pour la mesure de la pression et un fluide transmetteur de pression. Quand la mesure de fluorescence du rubis ne convient plus pour déterminer la pression exercée sur l'échantillon (valeurs supérieures à 100 GPa), la spectrométrie Raman de l'enclume diamant - équipement également fourni par le LHP - peut prendre le relais, ou bien la diffraction X d'un étalon (or, platine, argent par exemple) préalablement mélangé à l'échantillon, dont le volume en fonction de la pression est connu.

### Support, et formation

Depuis ses débuts, beaucoup de choses ont évolué : le laboratoire a déménagé pour se retrouver aujourd'hui à proximité des lignes qui en ont le plus besoin, à savoir celles réalisant de l'absorption ou de la diffraction X ou encore de la spectroscopie infrarouge. Ainsi, le LHP compte parmi ses utilisateurs réguliers les lignes ODE, CRISTAL,

SMIS, GALAXIES, PSICHE et AILES. Au total, 10 lignes ont déjà fait appel au LHP, pour leur recherche interne aussi bien que pour leurs utilisateurs. En moyenne, deux expériences hautes pressions se déroulent à SOLEIL toutes les semaines. La demande de support varie selon les scientifiques ; sur les lignes, les responsables sont à présent plus autonomes. Signe de reconnaissance de la qualité du laboratoire, il a été choisi pour accueillir la session 2014 de la formation donnée tous les deux ans par le réseau hautes pressions du CNRS. Mais, même si les chercheurs deviennent ainsi plus opérationnels, le LHP reste cependant à leur service pour préparer leur expérience, et notamment l'étape délicate de chargement du « milieu transmetteur de pression » : il s'agit d'introduire du néon ou de l'hélium dans la cellule, et ce sous une pression de 1 300 bars. L'équipe du LHP est aussi de bon conseil pour la maintenance des équipements, et est toujours prête à déceler les signes avant-coureurs d'un éventuel problème en cours d'expérience.

### Pression mais aussi température

Le LHP propose par ailleurs de coupler ces études hautes pressions à des conditions extrêmes en température. Deux cryostats sont disponibles pour descendre à 5K (-268°C), et des manchons chauffants placés autour des cellules d'expérience permettent de monter jusqu'à 500°C. Pour des échantillons de « gros volume » (quelques millilitres) le LHP dispose aussi d'une presse multi-enclumes, permettant d'atteindre des pressions supérieures à 30 GPa



et des températures de 2000°C, soit les conditions de pression extrêmes des couches profondes de la Terre. Le Laboratoire Hautes Pressions cherche aujourd'hui à repousser les limites des expériences disponibles, à travers divers projets d'instrumentation. Un système de perçage laser des joints, destiné à remplacer l'électroérosion pour diminuer la taille de la chambre expérimentale à moins de 50 microns, est actuellement en développement. Il servira également à la découpe d'échantillons toujours plus petits. Le développement d'un système de four sous vide plus performant pour les cellules enclumes-diamant est aussi à l'étude. Il doit permettre de s'affranchir de la barrière des 800°C à partir de laquelle le diamant se retransforme en graphite.

Alain Polian (à gauche) et Jean-Paul Itié, responsables du Laboratoire Hautes Pressions, s'assurent sous binoculaire du bon alignement de la chambre expérimentale entre les deux diamants.

### → Contacts :

jean-paul.itie@synchrotron-soleil.fr  
alain.polian@synchrotron-soleil.fr

## PORTRAIT D'EXPERT

# Marie LABAT,

## chercheur dans le groupe Diagnostics Machine



Marie dans le laboratoire Diagnostics, à SOLEIL.

### Quel est votre parcours ?

Lorsque j'ai commencé mon cursus d'élève ingénieure à l'École Centrale, les programmes de physique m'ont laissée sur ma faim. J'ai donc décidé de les compléter en suivant, en cours du soir, le Master de Physique Fondamentale proposé par l'Université Paris Sud d'Orsay. Master qui a débouché sur un DEA Grands Instruments en dernière année d'École. En 2005, j'ai entamé une thèse sur les lasers à électrons libres (LEL) sous la direction de

Qu'elles soient lasers ou synchrotrons, les sources de lumière sont au cœur des travaux de recherche de Marie. Et, depuis sa thèse, l'une de ces sources est SOLEIL.

Marie-Emmanuelle Couprie, qui était à l'époque au CEA. La partie expérimentale de ma thèse se partageait entre des travaux sur le synchrotron UVSOR au Japon, et sur le projet de LEL SPARC en Italie. Puis Marie-Emmanuelle est partie travailler à SOLEIL, où je l'ai rejointe en 2007 pour ma dernière année de thèse.

Le fait d'être basée à SOLEIL, m'a permis de m'impliquer progressivement dans l'activité du Groupe Diagnostics de la Division Sources à SOLEIL, notamment en participant à la mise en place d'une streak camera pour la mesure de la durée des paquets d'électrons dans l'anneau de stockage.

À la fin de ma thèse, le module expérimental que j'avais réalisé pour le projet SPARC n'était toujours pas installé... Il attendait sagement dans une caisse la fin de la construction de l'accélérateur, retardée de plus d'un an pour des raisons diverses. Pour pouvoir finaliser ce que j'avais commencé, je suis donc partie pour un an de post-doctorat à Frascati en Italie. J'ai alors eu la chance d'être très impliquée dans le commissioning du LEL SPARC. Mais à l'issue de la première année, mon module n'était toujours pas en place... Au vu des retards accumulés, de guerre lasse, j'ai préféré quitter le projet et me suis mise en quête d'un nouveau post-doctorat, de préférence en France.

Par chance, à ce moment s'ouvrait à SOLEIL un poste dans le groupe Diagnostics, alors dirigé par Jean-Claude Denard. Je n'avais dans ce domaine que peu d'expérience,

mais le Groupe Diagnostics était à la recherche d'un profil de chercheur physicien/ingénieur orienté sources de lumière nouvelles générations : une aubaine. J'ai donc intégré SOLEIL en 2010.

### En quoi consiste votre travail ?

Le Groupe Diagnostics a pour mission de caractériser le faisceau d'électrons dans le Linac et l'anneau de stockage de SOLEIL. Dans le groupe, qui compte six personnes, chacun a sa spécialité. La mienne, ce sont les diagnostics optiques, c'est-à-dire les diagnostics qui utilisent le rayonnement produit par les électrons pour en mesurer les propriétés, et non les électrons directement comme c'est le cas des diagnostics électroniques. C'est à la fois un travail d'ingénieur et de chercheur, ce que j'apprécie particulièrement.

Je suis également impliquée dans le projet femto-slicing (cf. Rayon de SOLEIL n° 24, p 20) dont le but est de fournir des impulsions X femtosecondes à plusieurs lignes de lumière de SOLEIL, pour l'étude de phénomènes ultrarapides. J'ai mis en place les diagnostics pour la partie « machine » du projet, puis participé (et participe toujours...) au commissioning. Là encore, on se trouve à l'interface entre la physique et l'ingénierie. Enfin, je mène en parallèle une activité davantage axée « recherche », dans le cadre du projet LUNEX<sup>51</sup>, conduit par M.E. Couprie. C'est un projet original de source de quatrième et cinquième

génération. Le but est de fournir des impulsions sub-picosecondes de haute brillance dans la région des X mous avec un LEL alimenté par un accélérateur radiofréquence traditionnel (un linac), et de mettre en œuvre le premier LEL alimenté par un accélérateur plasma. Il y a deux ans, une bourse ERC nous a permis de lancer le programme COXINEL<sup>2</sup>, qui devrait nous permettre de réaliser un prototype de LEL sur accélérateur plasma au LOA. Les premières expériences sont prévues pour début 2016. Mon travail pour LUNEX5 est essentiellement un travail de simulation de la génération du rayonnement. Mais sur COXINEL, je suis également en charge de la réalisation des diagnostics photons. Et mes collègues du groupe sont en charge de la réalisation des diagnostics électrons.

Ce sujet de recherche est en quelque sorte un prolongement de mon travail de thèse, dont le volet théorique portait sur le projet de source de lumière de 4<sup>e</sup> génération « Arc en ciel » qui n'a finalement pas vu le jour. Synchrotrons et LEL sont complémentaires ; les LEL actuellement opérationnels sont submergés de demandes d'utilisateurs, et il est important que la France se dote d'un tel équipement.

À SOLEIL, j'ai donc la possibilité de me plonger dans du « très théorique » mais aussi de passer à l'action, en installant les équipements que j'ai conçus. C'est exactement ce que j'attends de mon métier.

### Où en est votre travail sur le slicing ?

Le projet a démarré en 2012. En 2013 nous avons essentiellement installé les équipements, et en 2014 travaillé au transport du laser jusque dans l'anneau de stockage. En septembre 2014, nous avons obtenu la première interaction entre laser et électrons. Et nous en sommes à présent au

commissioning sur la ligne CRISTAL. D'ailleurs une étape importante a été franchie tout récemment : le 5 octobre dernier les premiers faisceaux X slicés par le laser ont été enregistrés par le détecteur situé dans la cabane expérimentale de CRISTAL, première ligne de SOLEIL à utiliser le slicing! (cf p.3)

Le commissioning démarre également doucement sur la ligne TEMPO, une autre ligne utilisatrice du slicing, mais il est pour le moment plus complexe. En effet, sur CRISTAL, seul le diaphragme a dû être modifié de façon à capter le rayonnement émis par les paquets slicés hors axe « classique ». Dans le cas de TEMPO, il faut faire des modifications plus en amont, en ajoutant des aimants dans l'anneau, pour aider les paquets slicés à prendre l'axe adéquat pour entrer dans la tête de ligne. De premiers essais ont été faits, qui ont notamment permis d'améliorer les outils de diagnostics. On espère obtenir les premiers faisceaux slicés début 2016.

### Et côté détecteurs pour l'anneau de stockage ?

Mon travail porte sur deux types d'équipement principalement : les XBPM (X ray Beam Position Monitor) et les pinhole cameras (PHC). Les premiers consistent en des lames de métal sensibles aux RX, placées au tout début des lignes de lumière (encore dans le tunnel de l'anneau). Les lames permettent de détecter la position du rayonnement émis par les dipôles et les onduleurs au niveau des têtes de lignes. Ils fournissent ainsi, indirectement, une information supplémentaire sur la position et l'angle des paquets d'électrons au niveau des points sources de l'anneau. L'anneau était déjà équipé de plusieurs XBPM quand je suis arrivée. Mais j'ai ensuite pris le relais de Jean-Claude Denard, avec Nicolas Hubert, pour le design et la mise en place des nouveaux XBPM. Nous avons notamment développé un XBPM spécial, double, pour les

lignes Nanoscopium et ANATOMIX. Du fait de l'angle existant entre leurs onduleurs respectifs, le rayonnement synchrotron est en effet divisé en deux à son arrivée sur leur tête de ligne commune. Il fallait donc concevoir un XBPM « bicéphale »... Les pinhole cameras donnent quant à elles une mesure des dimensions transverses du faisceau, via (toujours) une mesure du rayonnement X produit par les électrons. Si l'on dispose de deux dispositifs de ce type, on a par ailleurs accès à la dispersion, qui est un paramètre important de la machine. Jusqu'à maintenant seule une pinhole caméra était fonctionnelle ; nous prévoyons d'en installer une seconde, début 2016.

### Quel moment fort retiendrez-vous de ces années à SOLEIL ?

L'obtention des premiers faisceaux slicés dans l'anneau reste un grand moment, que l'on attendait depuis plusieurs mois et pour lequel il a fallu fournir un travail acharné pendant près de deux ans. Le début de mon congé maternité approchait à grands pas : il fallait que ça marche avant mon départ, je tenais absolument à être présente pour ne pas rater ce moment-là ! Le 29 septembre 2014, nous avions tous les yeux rivés sur l'écran de l'oscilloscope, à scruter le signal provenant du bolomètre qui nous prouverait qu'il y a bien interaction entre le laser « sliceur » et les paquets d'électrons. Lorsque le signal est enfin apparu, ce fut un grand cri de joie, suivi d'un immense soulagement. Le « bolo » était sous les projecteurs. Si bien que, pour plaisanter, mes collègues m'ont suggéré « Bolo » comme prénom pour mon futur enfant... Je n'en ai gardé que le son en « o » !

➔ **Contact:**  
marie.labat@synchrotron-soleil.fr

<sup>1</sup>LUNEX5 : Laser à électrons libres Utilisant un Nouvel accélérateur pour l'exploitation du rayonnement X de 5<sup>e</sup> génération

<sup>2</sup>COXINEL : COherent Xray source INferred from Electrons accelerated by Laser.

## POINT FORT

# Bibliothèque et Bureau des Utilisateurs de SOLEIL :

## un groupe, trois activités

Cinq personnels permanents, dont quatre travaillant à temps plein, aidés par deux jeunes apprenti(e)s : au sein de la « Division Expériences » le BBUS, dirigé par Frédérique Fraissard, assure des missions indispensables qui suivent et rythment la vie scientifique de SOLEIL.



L'équipe du BBUS.

De gauche à droite : Anaïs Humblot, Jean-Marc Lucacchioni, Sylvie Koguc, Sylvie Pavan, Frédérique Fraissard et France Pochard.

### La Bibliothèque

Au-delà de la gestion de l'ensemble des opérations liées à la documentation, (une cinquantaine de revues, en version électronique et/ou imprimée mises à disposition par la bibliothèque), Jean-Marc Lucacchioni, documentaliste, est chargé de compiler toutes les publications résultant d'expériences menées à

SOLEIL, soit environ 500 par an. Des articles qu'il faut bien sûr répertorier et classer en fonction, des lignes de lumière et autres groupes de SOLEIL concernés. Cet énorme travail est une véritable « quête » auprès des scientifiques de SOLEIL et des utilisateurs qui se traduit également par une recherche bibliographique minutieuse.

Jean-Marc intervient aussi dans

l'édition des recueils des contributions soumises aux différents colloques organisés par le groupe. C'est par exemple le cas du recueil du Colloque annuel des Utilisateurs de SOLEIL (SOLEIL Users' Meeting), événement majeur qui rassemble chaque année plus de 300 participants.

### Les Évènements scientifiques

Le Users' meeting n'est pas le seul événement scientifique géré par le groupe. Chaque année est ponctuée par près d'une dizaine de colloques scientifiques, de dimension nationale ou internationale, organisés par la Division Expériences, via le BBUS.

À l'issue d'une campagne annuelle de candidatures, qui se tient de la mi-septembre à la mi-octobre, les événements à organiser sont sélectionnés par la Direction Scientifique. Le choix est une question d'équilibre entre les thématiques traitées, et également de ressources humaines disponibles. Les événements à organiser constituent alors autant de projets qu'il faut planifier et répartir entre les gestionnaires Sylvie Koguc, Sylvie Pavan et France Pochard. Face au nombre croissant d'événements à organiser, le BBUS a également dû solliciter le concours de Jacqueline Lassagne, assistante des Directeurs Scientifiques.

Dès l'acceptation d'un événement, il faut enchaîner toutes les actions de logistique, communication,

gestion, indispensables à leur bon déroulement. Ces différentes étapes et leur mise en œuvre ont évolué au fil des ans vers plus de standardisation et de structuration, afin de gagner en temps, en efficacité et simplifier le travail des groupes supports qui travaillent en interaction avec le BBUS. Après bientôt dix années de fonctionnement et un retour très positif des comités scientifiques d'organisation avec lesquels le BBUS a collaboré, son travail rencontre un vif succès. Les demandes proviennent désormais également de scientifiques extérieurs (en collaboration avec des scientifiques de SOLEIL) qui souhaitent utiliser l'expertise de la Cellule Evènements du BBUS. Ces événements peuvent être localisés à SOLEIL ou à l'extérieur. Parmi les événements scientifiques récurrents, le BBUS – et principalement Sylvie Pavan – organise donc l'un des rendez-vous incontournables de SOLEIL, le Colloque annuel des Utilisateurs. La 11<sup>e</sup> édition aura lieu les 21 & 22 janvier 2016. Il permet de faire le point sur l'année écoulée, de présenter les projets en cours ou à venir, mais surtout pour les utilisateurs d'échanger avec les scientifiques de ligne et des laboratoires support, les équipes des Sources ainsi que la Direction de SOLEIL. Son programme est élaboré par l'ORGANISATION des Utilisateurs de SOLEIL (ORGUES - Comité Utilisateurs), en accord avec la Direction de SOLEIL. L'interface est assurée par le BBUS lors de 4 réunions annuelles. Certaines de ces réunions visent également, tous les deux ans, à préparer et valider le renouvellement par moitié des membres de l'ORGUES. Dans le cadre de ses actions de formation, SOLEIL est par ailleurs impliqué dans l'organisation d'Écoles ou de cours récurrents comme HERCULES (Higher European Research Course for Users of Large Experimental Systems) chaque année ou la Formation Cristallographie des

Grands Instruments (tous les deux ans).

### Les relations avec les utilisateurs de SOLEIL: le Bureau des Utilisateurs

SOLEIL reçoit plus de 4 000 « visites d'utilisateurs » annuelles – un même utilisateur pouvant venir plusieurs fois par an, cela représente environ 2 200 chercheurs différents chaque année. Ces utilisateurs effectuent leurs expériences sur les lignes de lumière (26 disponibles en 2015, 29 d'ici 2017), mais aussi dans l'un des 5 laboratoires support de SOLEIL (biologie, chimie, surfaces, hautes pressions, matériaux anciens, microfluidique). Pour 680 expériences réalisées sur une année, ce sont plus de 1 200 projets qui sont déposés. Le dépôt de projets se fait par internet sur l'espace dédié « SUN » (SOLEIL Users Net), à partir de l'outil SUN Set (<http://sunset.synchrotron-soleil.fr/sun/>), qui inclut le guide général des utilisateurs. Les dates de clôture des dépôts de projets sont les 15 février et 15 septembre. Le SUN Set est l'élément central, portail d'entrée unique, pour la gestion des projets de recherche déposés à SOLEIL. Afin d'homogénéiser autant que possible les procédures en vigueur entre les synchrotrons, et ainsi faciliter les démarches des utilisateurs, le but initial était de partir d'un outil existant, tout en y intégrant les besoins spécifiques de SOLEIL.

Après un recensement de besoins et spécifications effectué par Frédérique Fraissard, le SUN Set a été développé en interne par le groupe Intégration des Systèmes de Gestion (ISG) de la Division Informatique de SOLEIL (principalement Angélique Prevost et Idrissou Chado) à partir d'un outil utilisé au SLS, le DUO. Ses potentialités ont régulièrement été enrichies depuis l'ouverture de SOLEIL aux utilisateurs extérieurs (2008). Au départ, le SUN Set servait uniquement à déposer les projets.



Depuis, c'est également via cet outil que se font l'évaluation de ces projets et la planification des expériences, la gestion des comptes-rendus d'expérience et des enquêtes de satisfaction, la déclaration des participants à l'expérience, la prise en compte des demandes pour utiliser un laboratoire support (l'une des spécificités de SOLEIL), le rattachement des articles scientifiques soumis pour publication au projet dont ils sont issus... C'est donc un outil en constante évolution. Les attentes des utilisateurs sont également prises en compte et, pour cela, Frédérique s'appuie sur les membres de l'ORGUES, mis à contribution pour tester et valider les « nouveautés » offertes par le SUN Set avant qu'elles soient à disposition des autres scientifiques.

L'équipe du BBUS mobilisée pour l'accueil des participants au Users' meeting de SOLEIL, en janvier 2015.

Parmi les nouvelles fonctionnalités sont déjà prévus le pilotage des expériences et le traitement des données à distance (remote access) ou la traçabilité des échantillons – autant d'ajouts successifs qui suivent les besoins identifiés du côté des lignes.

Une fois déposés dans le SUN set, les projets suivent toute une procédure : ils sont évalués techniquement par les responsables de ligne, puis répartis selon leur sujet, sous le contrôle de la Direction de SOLEIL, entre les six comités de programmes<sup>1</sup> (CP) qui les évaluent scientifiquement. Les décisions sont prises lors de réunions organisées à SOLEIL par le Bureau des Utilisateurs, puis immédiatement enregistrées en séance dans le SUN Set. C'est ensuite au groupe Sécurité d'attribuer un niveau de dangerosité à chaque projet (de vert à noir – noir empêchant l'expérience d'avoir lieu, tout au moins sans modification), données aussi enregistrées dans le SUN Set. La répartition du temps de faisceau (figure 1), établie par

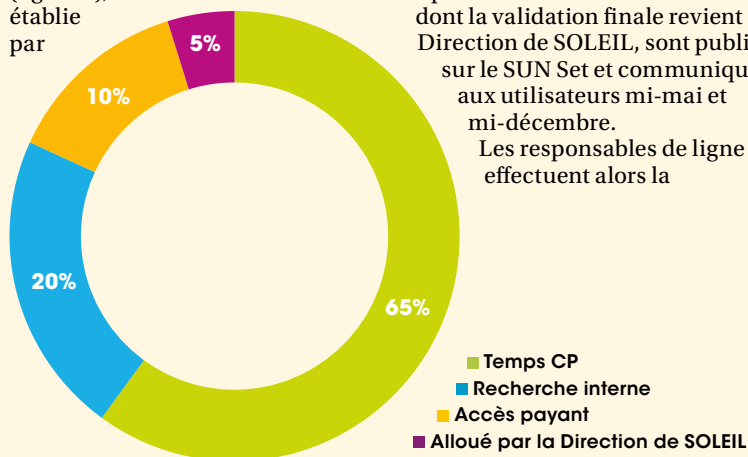


Figure 1 : répartition du temps de faisceau.

Frédérique Fraissard et validée par la Direction scientifique, tient compte de multiples facteurs (opérations de commissioning et de formations, périodes avec des modes « exotiques » de remplissage de l'anneau qui ne conviennent pas à toutes les expériences...). De quoi tourner au casse-tête!

Ensuite, le temps de faisceau dédié aux CP (au moins 65%) est réparti entre eux en fonction de la demande et après avis des responsables de ligne sur l'adéquation entre temps de faisceau demandé et projet. Ce volume/quota de temps de faisceau par CP est communiqué aux membres des CP avant les réunions, qui ont lieu en avril et novembre.

La Direction de SOLEIL peut décider de donner aux CP, avant évaluation, les 5% de temps de faisceau dont elle dispose. Le temps réservé aux accès payants est fixé quant à lui après consultation du Groupe Relations Industrielles et Valorisation. Après la tenue des CP les résultats, dont la validation finale revient à la Direction de SOLEIL, sont publiés sur le SUN Set et communiqués aux utilisateurs mi-mai et mi-décembre.

Les responsables de ligne effectuent alors la

planification des expériences acceptées, notifiée aux responsables des projets retenus. Ces derniers effectuent ensuite des formalités préalables à leur venue à SOLEIL puis, une fois l'expérience terminée, remplissent un questionnaire de satisfaction (« end of run report ») et rédigent un compte-rendu d'expérience. Enfin, ils doivent communiquer les références des publications issues des résultats de leurs expériences. Pour les assister dans ces différentes démarches, en amont et en aval de l'expérience, les utilisateurs peuvent faire appel aux deux gestionnaires scientifiques, Sylvie Pavan et France Pochard, qui suivent tous les projets. Sylvie et France se répartissent la gestion des projets en fonction des lignes et laboratoires de SOLEIL dont elles ont la charge.

Garante du respect des règles élaborées par la Direction en collaboration avec ORGUES, l'équipe du bureau des utilisateurs fait en sorte de diminuer les contraintes des scientifiques venant travailler au synchrotron, et de leur en simplifier l'accès.

→ **Contact :**  
frederique.fraissard@synchrotron-soleil.fr

<sup>1</sup> Les comités de programmes (CP) sont au nombre de 6 : Matière diluée ; Propriétés électroniques et magnétiques de la matière - Surfaces et Interfaces ; Propriétés de la matière et des matériaux : Structure, Organisation, Caractérisation, Elaboration ; Chimie et physico-chimie - Réactivité in situ - Matière molle ; Biologie - Santé ; Matériaux anciens - Terre et Environnement. Les membres des CP sont nommés par la Direction de SOLEIL pour une période de deux ans renouvelable. - c'est le BBUS qui a en charge d'organiser le renouvellement des membres des CP. Chaque CP comprend entre 9 et 11 membres, qui couvrent l'ensemble des sous-domaines de la discipline.

# Lumière sur les enjeux du XXI<sup>e</sup> siècle



Réflexion autour  
de résultats  
obtenus sur la  
ligne SMIS.

Une mission essentielle de la recherche est d'accompagner la société dans l'identification des enjeux de demain et la mise en œuvre des solutions nécessaires. Pour faire face aux problématiques auxquelles nous sommes confrontés, l'interconnexion entre les disciplines scientifiques et la coopération internationale sont devenues indispensables. Au synchrotron SOLEIL, la recherche reflète aussi les préoccupations sociétales.



## DISCO-METROLOGIE

**Médecine - une nanolampe de poche pour activer les médicaments dans les tumeurs**

L'utilisation de la lumière pour traiter certaines pathologies n'est pas nouvelle. La thérapie photodynamique s'appuie sur l'utilisation de substances qui deviennent toxiques pour leur environnement local lorsqu'elles sont soumises à une illumination visible. Mais la limite majeure de cette technique est la possibilité de ne traiter que des zones accessibles (peau, œsophage, poumons...). Tout l'enjeu revient alors à vectoriser ces substances jusqu'à la tumeur avant de les illuminer pour déclencher la réaction toxique.

Des scientifiques de SOLEIL et du Centre de Biophysique Moléculaires d'Orléans ont eu l'idée de proposer une réaction en chaîne afin de permettre d'accéder à des tumeurs en profondeur.

Première étape, une structure micellaire de liponanoparticules, avec des lanthanides en périphérie, vient entourer un photosensibilisateur, l'hypericine, ce qui permet de vectoriser cette substance hautement hydrophobe jusqu'à la zone à traiter. Étape 2, l'ensemble est irradié par des rayons X, initiateurs de la réaction en chaîne. Les lanthanides (ex: Gadolinium ou Europium) ont en effet une propriété de luminescence connue de longue date: soumis à des rayons X, ils vont réémettre dans l'ultraviolet ou le visible. Étape 3, cette source secondaire de lumière irradie

l'hypericine centrale, qui produit alors des dérivés réactifs de l'oxygène, les substances toxiques qui à leur tour vont tuer les cellules tumorales voisines. L'irradiation des

liponanoparticules, ainsi que l'enregistrement des spectres de luminescence associés, ont été réalisés sur les lignes METROLOGIE et DISCO. Les chercheurs ont montré que la présence de lanthanides permettait bien d'émettre un rayonnement UV- visible correspondant au spectre d'absorption de l'hypericine, puis ont caractérisé le transfert d'énergie lumineuse entre ces deux molécules. Ensuite ils ont mesuré, par spectrométrie de masse, l'augmentation de production de dérivés réactifs de l'oxygène suite à l'absorption de lumière par l'hypericine.

Par ailleurs, les propriétés de luminescence dans l'UV des structures micellaires ont permis aux chercheurs de les suivre à l'intérieur des cellules, et notamment à l'intérieur des noyaux.

Ce système a l'avantage d'être extrêmement versatile: il est en effet possible d'élargir cette méthode à d'autres photosensibilisateurs, ou d'autres liponanoparticules déjà adaptées à des cibles précises. Alors que les traitements photodynamiques actuels se cantonnaient à des thérapies superficielles, l'utilisation du pouvoir pénétrant des rayons X promet l'ouverture de nouvelles perspectives pour traiter les tumeurs profondes, et offre aussi des perspectives en imagerie par résonance magnétique.

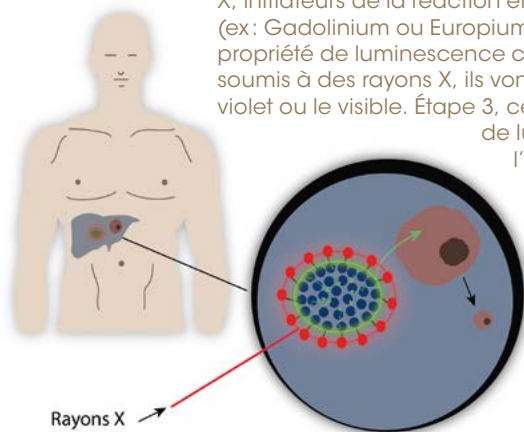
**→ Contacts:**

[matthieu.refregiers@synchrotron-soleil.fr](mailto:matthieu.refregiers@synchrotron-soleil.fr)

[pascal.mercere@synchrotron-soleil.fr](mailto:pascal.mercere@synchrotron-soleil.fr)

## Référence :

Kaščíáková, S. et al. Nano Research (2015) 8 (7): 2373-2379.



**N**otre centre de rayonnement synchrotron est une Très Grande Infrastructure de Recherche (TGIR), qui, grâce à son caractère pluridisciplinaire, permet d'adresser de nombreux défis que doit relever notre société, en matière de santé, de biologie, d'énergie, de pollution, d'agro-alimentaire... En accueillant plus de 4000 visites de chercheurs chaque année, il est de plus au cœur de la coopération scientifique internationale, indispensable à la mise en œuvre de solutions globales aux problèmes qui nous sont posés. Avec ses 27 lignes de lumière (bientôt 29) utilisant des techniques et des domaines d'énergie différents, SOLEIL met en place des outils performants pour être au plus près des besoins actuels de la recherche et offre une plateforme unique d'étude.

Au-delà des exemples qui sont présentés dans ce numéro du Rayon de SOLEIL, l'implication de notre synchrotron dans les enjeux de société est multiple et transverse: toutes nos lignes sont actives sur ces questions, soit par leur recherche interne, soit par l'accueil d'utilisateurs. Sans être exhaustifs, nous vous dressons ici un panorama de la recherche de SOLEIL s'inscrivant dans les problématiques sociétales.

Avec l'organisation de la COP21, la France est, en 2015, un acteur central de la coordination mondiale des efforts faits pour le climat et l'environnement. SOLEIL contribue depuis plusieurs années à cet effort. Citons par exemple l'étude des proxies, archives naturelles des transformations environnementales, anciennes, ou actuelles. Ces



ROCK - SAMBA

# Énergie - Une société tournée vers l'hydrogène

L'un des grands enjeux de notre société est de trouver des solutions alternatives aux énergies fossiles dont les réserves s'amenuisent de jour en jour. La production d'énergie propre sur la base de ressources renouvelables est en train de se répandre mais elle est source de nouveaux défis à cause de son intermittence et de sa répartition sur le territoire. L'utilisation de l'hydrogène comme réserve d'énergie propre est aujourd'hui mise en avant pour de nombreuses applications de la vie quotidienne, notamment pour alimenter en électricité nos véhicules ou nos habitations. Il peut être produit grâce à une source d'énergie naturelle (éolienne, biomasse, solaire...) qui n'est malheureusement disponible aujourd'hui que de façon intermittente et localisée. Nous parlerons alors d'ère de l'hydrogène lorsque nous serons capables de l'employer sans limitation géographique ou d'approvisionnement pour convertir l'énergie électrique en énergie chimique, et inversement. Nous devons disposer de moyens suffisamment performants pour produire l'hydrogène de façon propre pour une utilisation dans des dispositifs du type pile à combustible, et que la conversion en énergie dans ces piles soit efficace pour concurrencer les énergies fossiles. Pour résoudre ces deux problèmes, la recherche de catalyseurs performants sur le long terme et de bas coûts est un enjeu capital.

De l'hydrogène ( $H_2$ ) de pureté compatible avec les piles à combustible peut être produit par conversion de l'éthanol issu de la biomasse, en présence de catalyseurs à base de cobalt supportés sur alumine. En collaboration avec l'Institut de Chimie d'Araraquara (Brésil), les chercheurs de la ligne ROCK ont entrepris de suivre par des mesures d'absorption X résolues en temps, à l'échelle de quelques secondes, la spéciation en phases du cobalt lorsque le catalyseur travaille et perd en efficacité. Il a été montré que l'activité de ce type de catalyseur vis-à-vis de la production de  $H_2$  est stable sur une longue période dès lors que coexistent à la surface de l'alumine le cobalt métallique, actif dans la conversion de l'éthanol en  $H_2$ , et une espèce divalente de cobalt,  $CoO$  servant

à réoxyder le coke formé à la surface du catalyseur. Il faut pour cela que la proportion des deux espèces soit proche de  $CoO/Co(0) = 1/3$ . Ce résultat a été confirmé par l'étude de la régénération de l'activité du catalyseur empoisonné par la formation de coke. En effet, si on introduit des pulses d'oxygène dans le milieu, la production de  $H_2$  reprend significativement dès lors que le coke a été ré-oxdé en  $CO_2$  et que le rapport  $CoO/Co(0)$  est proche de 1/3, et ce malgré la réoxydation du cobalt métal, inhérente à l'introduction d'oxygène.

Dans une pile à combustible, l'hydrogène est oxydé pour produire l'électricité de façon directe. Sa réaction d'oxydation et celle de réduction de l'oxygène sont médiées par le biais d'une membrane perméable aux protons et d'un conducteur électrique; ces réactions ne seront donc pas explosives, mais maîtrisées. Le prix à payer est que, parmi les catalyseurs nécessaires à ces deux réactions, le plus efficace est le platine, très coûteux et rare. Heureusement, de nouveaux catalyseurs à bas coût émergent. Parmi ces catalyseurs, ceux à base de métaux non nobles comme le fer, le cobalt ou le molybdène, ou nobles mais plus répandus comme l'or, commencent à rivaliser en performances avec le platine. En étroite collaboration avec le groupe de l'Institut Charles Gerhardt Montpellier,

UMR 5253 (CNRS/Université de Montpellier), les chercheurs de l'équipe SAMBA ont réussi à éclaircir un des points les plus obscurs et controversés dans l'étude des catalyseurs à base de fer pour la réduction de l'oxygène: la détermination de la structure du site actif. En simulant les spectres XANES du Fe obtenus sur des catalyseurs très efficaces mais à bas contenu de fer, ils ont trouvé que le site actif est constitué d'un atome de fer coordonné par quatre azotes, dans une structure semblable à la porphyrine (proche de celle qui coordonne le fer dans notre sang) et qui peut se situer aux bords d'un feuillet de graphène.

Cette nouvelle étape ouvre la voie à une approche encore plus rationnelle de l'étude de ces systèmes: c'est un autre pas vers l'ère de l'hydrogène.

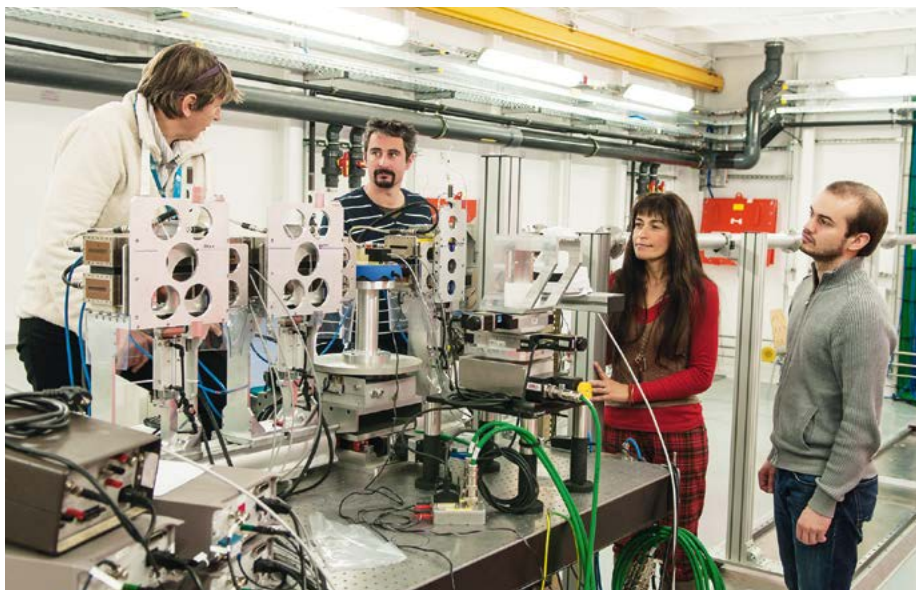
## → Contacts :

valerie.briois@synchrotron-soleil.fr  
emiliano.fonda@synchrotron-soleil.fr

## Références :

Ribeiro Passos, A. et al. (2014) Catalysis Today 229, 88.  
Zitolo, A. et al. (2015) Nature Materials, 14, 937.

**L'équipe de la ligne réunie dans la cabane expérimentale de ROCK.**



## MARS

**Environnement – Radionucléides et eau de mer**

**De gauche à droite :**  
**Christophe Den Auwer, Mélody Maloubier et Maria Rosa Beccia (Université Nice Sophia Antipolis) et Pier Lorenzo Solari (ligne MARS).**

Que deviennent les radionucléides naturels ou issus de l'activité nucléaire dans l'environnement, et notamment dans l'eau de mer? On pense par exemple à l'accident nucléaire de Fukushima en 2011, avec sa centrale localisée sur la côte. Cependant les contaminations dans les terres sont également à considérer car les radionucléides peuvent être transportés via les cours d'eau jusqu'à la mer, qui apparaît comme le « réceptacle final ». Or cette question est d'autant plus cruciale que les études sont rares sur le sujet.

Établir un modèle permettant de comprendre la dispersion des radionucléides dans l'eau de mer et d'en évaluer l'impact pour l'Homme nécessite de prendre en compte de multiples paramètres tels que les courants, l'advection et la diffusion, l'échange entre l'eau et les matières en suspension, les vents, ou encore la spéciation, c'est-à-dire la forme chimique

sous laquelle ils existent dans le milieu. La spéciation est une donnée souvent difficile à obtenir car les concentrations en radionucléides sont extrêmement faibles (ex:  $10^{-17}$  M en Méditerranée pour le Plutonium-239,240, donc très inférieures au ppb), mais c'est une donnée essentielle si l'on veut appréhender correctement la dispersion des radionucléides en situation accidentelle. De plus, la toxicité et la biodisponibilité des éléments dépendent souvent de leur spéciation, d'où l'importance de ce facteur sur l'impact toxicologique. Une équipe de l'Institut de Chimie de Nice (Université Nice Sophia Antipolis/CNRS), avec le

CEA DAM-DIF, essaie d'établir un lien entre la spéciation des radionucléides et des actinides plus spécifiquement dans l'eau de mer, et leur assimilation par des organismes marins (en collaboration avec le laboratoire environnement de l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique, AIEA, Monaco), afin de mieux comprendre les mécanismes de transfert biochimiques impliqués.

Dans un premier temps, les chercheurs ont étudié la spéciation de l'uranium (VI) et du neptunium (V) dans l'eau de mer. L'uranium est un cas spécifique puisqu'il est naturellement présent dans l'écorce terrestre mais peut être localement concentré par l'activité humaine (activité minière par exemple). Sa concentration naturelle dans l'eau de mer est extrêmement faible (autour de  $10^{-8}$  M en Méditerranée). Ce sont des quantités inférieures au seuil de détection de nombreuses techniques

... Suite de la page 16

indicateurs climatiques peuvent être des coquilles et squelettes d'organismes marins, biominéraux étudiés par microscopie et spectroscopie X combinées sur LUCIA, ou par spectroscopie de photoémission (XPS) sur TEMPO. Les otolithes de poissons sont eux aussi des témoins sensibles aux variations environnementales comme l'ont montré des mesures en diffraction, absorption et fluorescence X sur DIFFABS.

Dans le contexte de transition énergétique, le développement des énergies de demain est également primordial. Les lignes SAMBA et ROCK sont particulièrement actives, voire spécialisées dans ce domaine, avec leur recherche sur la catalyse et les batteries (voir page 17). Par ailleurs, sur CRISTAL, nos chercheurs étudient la structure de maté-

riaux abondants et peu polluants ( $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ ) pouvant être utilisés comme absorbeurs dans les cellules photovoltaïques, et dont on cherche à améliorer l'efficacité de conversion des photons solaires. La ligne DÉSIRS a, pour sa part, déjà accueilli à plusieurs reprises des utilisateurs dont les travaux sur la combustion pourraient permettre l'amélioration du rendement des moteurs et donc réduire leur pollution.

L'agro-alimentaire est également un thème récurrent des recherches menées à SOLEIL, qui a en particulier un partenariat très fort avec l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), dont trois ingénieurs de recherche travaillent à plein-temps dans nos locaux. Après une première édition en 2012, nous préparons actuellement un nouvel ouvrage pour célébrer les 10 années de cette collaboration

spectroscopiques permettant de déterminer la spéciation chimique. Pour contourner cette difficulté tout en restant le plus représentatif possible du milieu naturel, l'équipe a travaillé sur des solutions naturelles d'eau de mer dopées à  $5.10^{-5}$  M en actinide, une concentration supérieure à la limite de détection en spectroscopie X mais qui reste inférieure à celle des ions majoritaires dans l'eau de mer.

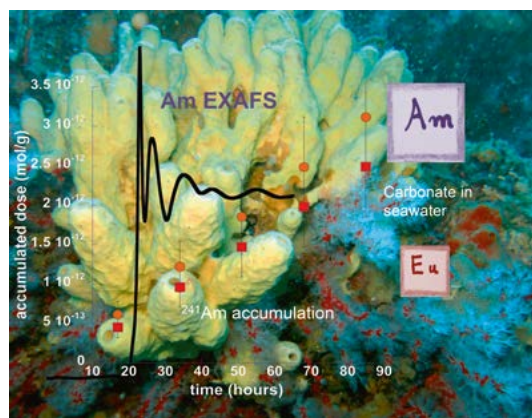
Des mesures d'EXAFS (Extended X-ray Absorption Fine Structure) ont été effectuées sur MARS, ligne dédiée à l'étude d'échantillons radioactifs à SOLEIL. Couplés à des expériences de SLRT (Spectrofluorimétrie Laser à

Résolution Temporelle), les résultats d'EXAFS ont montré que l'uranium est lié à trois groupements carbonates, le complexe  $Ca_2UO_2(CO_3)_3$  se révélant non bio disponible. En recoupant les spectres obtenus sur la ligne MARS avec des données théoriques issues de modèles thermodynamiques, les chercheurs ont proposé que le neptunium (V) soit quant à lui présent sous deux formes dans l'eau de mer:  $NpO_2^+$  et  $NpO_2CO_3^-$ . Ces premiers résultats valident l'intérêt et la pertinence de cette approche, compromis entre l'utilisation de systèmes modélisés et les mesures environnementales directes, souvent inaccessibles à la spectroscopie.

précédemment, la spectroscopie infrarouge à Transformée de Fourier en réflexion totale atténuée (FTIR-ATR) qui permet l'étude des modes de coordination des ions, et enfin la microscopie électronique à balayage, donnant des informations morphologiques sur les complexes formés, sont venues compléter les données EXAFS pour le système eau de mer, mais également pour l'éponge *Aplysina cavernicola* contaminée. Il apparaît que les spécimens d'éponge marine testés accumulent de façon linéaire au cours du temps (figure 1) l'américium-241. *A. cavernicola* le fixe donc sous la forme chimique qu'il adopte dans l'eau de mer. Mais quelle est-elle? Les résultats combinés des 4 techniques citées convergent vers la forme  $NaAm(CO_3)_2 \cdot nH_2O$ , et la forme équivalente  $NaEu(CO_3)_2 \cdot nH_2O$ .

Les prochaines étapes de ces recherches viseront à déterminer les transformations biologiques et chimiques subies par ces complexes carbonatés après leur absorption par les organismes marins considérés.

→ **Contact:**  
christophe.denauwer@unice.fr



**Figure 1:** Sur fond de photographie de *Aplysina cavernicola*, les courbes d'accumulation de Am-241 au cours du temps (pour deux spécimens). En noir, un exemple de spectre EXAFS enregistré au seuil  $L_3$  de l'Am.

L'équipe s'est ensuite intéressée à la spéciation de l'américium-241, un actinide trivalent lourd, et à son accumulation dans une éponge méditerranéenne, *Aplysina cavernicola*. Parmi les organismes vivants marins, les éponges sont en effet connues pour leur capacité à fixer les métaux lourds, ce qui fait d'elles de bons candidats au rôle de sentinelle.

La méthodologie utilisée consistait en un dopage de l'eau de mer à  $5.10^{-5}$  M en americium et comparaison avec l'euporium, élément de la famille des lanthanides, stable et aux propriétés chimiques proches de celles de l'américium. La SLRT mentionnée

Références :  
Maloubier, M. et al. (2015) Dalton Transactions, 44 (12), 5417  
Maloubier, M. et al (2015) Dalton Transactions 44 (47), 20584

fructueuse, ouvrage qui exposera toute la richesse et la diversité de ces travaux. Du métabolisme cellulaire des levures révélé par infrarouge sur SMIS pour des applications en chimie verte, à la tomographie de végétaux en conditions de sécheresse sur PSICHÉ, en passant par l'étude des secrets de la gomme arabique sur SWING et DISCO, nombreux sont en effet les sujets d'intérêt en nutrition et biotechnologies à SOLEIL.

SOLEIL est aussi très impliqué dans les problématiques de la biologie et de la santé, avec deux lignes, PROXIMA 1 et PROXIMA 2, spécialisées dans la cristallographie des macromolécules (voir page 20 l'article sur la dengue et la légionellose), la détermination de leur structure 3D étant bien souvent une étape incontournable pour la conception de

nouveaux médicaments. Mais outre la biologie structurale, SOLEIL participe à l'élaboration de diagnostics précoces de maladies (ex: pour le diagnostic de maladies du foie ou du rein) et s'intéresse au développement des pathologies, avec pour objectif la mise au point de traitements plus adaptés (analyse de la qualité de greffon de foie avant transplantation - un protocole mis au point sur SMIS puis exporté directement à l'hôpital). DISCO est une ligne également très engagée dans ces problématiques, côté biologie cellulaire, grâce par exemple à l'étude rendue possible de cellules isolées: amélioration de la localisation de cellules tumorales de glioblastome avant la radiothérapie, étude de bactéries résistantes aux antibiotiques, meilleur ciblage des traitements antitumoraux... (voir page 16, collaboration avec la ligne

## PROXIMA2

**Pharmacologie - Legionellose et dengue : rayons X contre bactéries et virus**

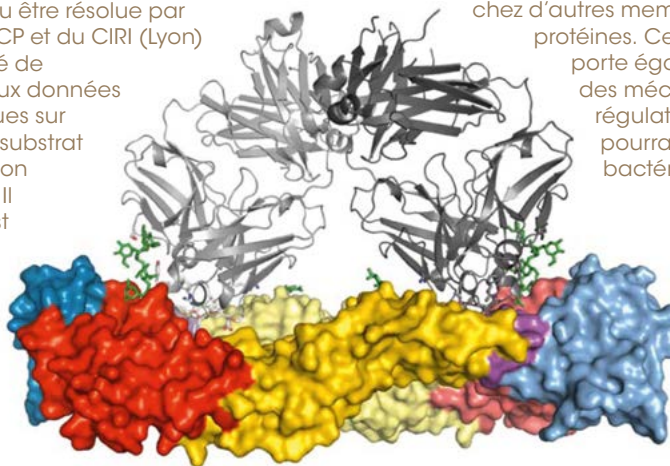
La ligne PROXIMA2 a contribué cette année à l'obtention de résultats majeurs concernant deux pathogènes : la bactérie *Legionella pneumophila* et le virus DENV, respectivement responsables de la légionellose, forme agressive de pneumonie, et de la dengue, fièvre pouvant être hémorragique, et donc mortelle.

Dans le cas de l'étude de *Legionella*, la biocristallographie a été couplée avec la technique de SAXS, sur la ligne SWING. Au cœur de l'étude : LegK4, l'une des protéines utilisées par la bactérie pour détourner à son profit la machinerie cellulaire de la cellule hôte (i.e. cellule épithéliale de poumon, ou macrophage) afin de s'y multiplier. Pour cela, les bactéries ciblent les réactions de phosphorylation en cascade, souvent centrales pour réguler les processus cellulaires. LegK4 intervient ainsi en phosphorylant de manière « parasite » les protéines hôtes, ce qui va modifier leur activité. La structure de LegK4 a pu être résolue par des chercheurs de l'IBCP et du CIRI (Lyon) ainsi que de l'Université de Leicester (UK) grâce aux données de diffraction X obtenues sur l'enzyme avec et sans substrat (AMP-PNP, analogue non hydrolysable de l'ATP). Il apparaît que LegK4 est constituée d'un domaine de type kinase (i.e. responsable de la phosphorylation) très proche des enzymes eucaryotes, auquel s'ajoutent

plusieurs caractéristiques originales : la liaison à son substrat nucléotidique n'implique pas la boucle d'activation « traditionnelle », riche en glycine, mais fait intervenir des acides aminés inhabituels appartenant à des éléments structuraux proches. Autre spécificité remarquable, LegK4 est capable de s'auto-assembler pour générer une interface dimérique, encore jamais observée dans la super famille des kinases, dont l'existence est confirmée par SAXS.

Les études enzymatiques montrent que LegK4 est active de façon constitutive (même sans être activée par phosphorylation), et les données structurales suggèrent que cette conformation active en l'absence de phosphorylation est stabilisée par le dimère.

Des comparaisons de séquence indiquent que certains de ces éléments pourraient exister chez d'autres membres de cette famille de protéines. Cette nouvelle structure porte également à soupçonner des mécanismes spécifiques de régulation de la kinase qui pourraient être utilisés par la bactérie pour détourner



**Structure 3D du complexe des anticorps spécifiques aux quatre sérotypes fixés à la protéine de l'enveloppe du virus de la dengue.**

©Institut Pasteur.

... Suite de la page 19

METROLOGIE). SOLEIL est par ailleurs actif auprès du secteur pharmaceutique, en hébergeant un laboratoire de biologie structurale construit et opéré pour sa recherche par un partenaire industriel, dont l'accès aux outils synchrotron est donc facilité.

Enfin, les questions technologiques soulevées par le déluge de données (les Big Data, qui vont faire évoluer profondément des domaines comme la santé, le transport, les énergies...), et la miniaturisation de l'électronique font aussi l'objet d'expériences à SOLEIL : l'étude et l'optimisation de matériaux (le graphène ou des composés organo-métalliques par exemple) pour leur utilisation en spintronique ou en nano-

électronique sur DEIMOS, HERMES ou CASSIOPÉE, les couches minces ferro-électriques sur ANTARES sont autant de sujets de pointe.

Autre enjeu sociétal de taille : l'évolution de l'Humain au cours des âges, notre Histoire, la compréhension et la préservation de notre patrimoine, auxquels certains de nos chercheurs consacrent leur recherche. Les expériences « Matériaux anciens » menées à SOLEIL sont nombreuses, en recherche interne ou par l'accueil d'utilisateurs. Citons par exemple les résultats récents obtenus sur ANTARES, et portant sur la compréhension de la dégradation des bronzes couverts d'or de la « Porte du Paradis », chef-d'œuvre de

différentes voies de la cellule hôte. Cette étude jette les bases pour d'autres recherches visant à mieux comprendre le rôle des kinases similaires dans l'infection bactérienne.

Maladie virale la plus largement répandue dans les régions tropicales de la planète, la dengue est causée par un virus dont il existe 4 formes différentes. Développer des anticorps ciblant l'une des 4 formes suite à une première infection n'est pas forcément un facteur de protection : ces anticorps spécifiques peuvent même constituer un facteur de risque de développer une dengue hémorragique s'il y a ensuite infection par l'une des 3 autres formes. D'où la nécessité de développer un vaccin qui protège simultanément et efficacement contre les 4 formes du virus.

Or une équipe de l'Imperial College (Londres) avait identifié et isolé, à partir d'une cohorte de patients infectés, des anticorps neutralisant simultanément les 4 sérotypes du virus. Mais le mode d'action de ces anticorps restait inconnu. Des chercheurs de l'Institut Pasteur et du CNRS ont alors étudié des cristaux de complexes d'anticorps et de protéine E, qui constitue l'enveloppe du virus et à laquelle on sait que les anticorps se fixent lors de la réponse immunitaire. Les données de diffraction X, enregistrées sur PROXIMA2 et à l'ESRF, ont permis de résoudre la structure de ces complexes, et d'identifier le site de fixation des anticorps sur la protéine E. Commun aux quatre sérotypes du virus, ce site apparaît alors comme une région d'intérêt vaccinal évident.

La structure a par ailleurs permis aux chercheurs de comprendre la raison pour laquelle ce site de fixation commun, malgré le point faible qu'il représente pour le virus, soit conservé chez tous les sérotypes : si elle peut permettre au virus d'échapper au système immunitaire, une mutation de ce site nuit par contre à la diffusion du virus ; en effet il s'agit d'un site fixant également une protéine essentielle à la réplication du virus : un véritable (et double) talon d'Achille. Inoculé chez un patient, des antigènes mimant ce site pourraient déclencher une réponse immunitaire

efficace ensuite à la fois contre les quatre sérotypes de la dengue. Un candidat-vaccin de choix contre la dengue.

→ **Contacts :**  
[laurent.terrardot@ibcp.fr](mailto:laurent.terrardot@ibcp.fr)  
[rey@pasteur.fr](mailto:rey@pasteur.fr)

#### Références :

Flayhan, A. et al. (2015) Sci. Rep. 5, 14602  
 Rouvinski, A. et al. (2015) Nature, 520 (7545): 109



Échanges sur la ligne PROXIMA2.

Ghiberti situé dans le baptistère Saint-Jean à Florence grâce à l'étude par photoémission à haute résolution de répliques de bronzes dorés, corrodées artificiellement. Soulignons que la construction de PUMA, ligne optimisée pour l'étude des matériaux anciens, est en cours, et qu'elle ouvrira ses portes aux utilisateurs en 2017. SOLEIL héberge de plus la plateforme IPANEMA, unité mixte du CNRS et du Ministère de la Culture et de la Communication, dont une des missions est de faciliter l'accès aux techniques synchrotron à cette communauté Matériaux Anciens.

En plus de ses recherches, SOLEIL met également en place différentes actions responsables, comme par exemple le projet Smart Building, aux côtés de la Chambre de Commerce et de l'Industrie (CCI) de

l'Essonne et du pôle de compétitivité Advancity, et dans lequel certaines de nos données énergétiques sont enregistrées puis analysées par des PME pour proposer des axes d'amélioration.

Enfin, nous poursuivons nos actions de médiation vers le grand public et les établissements scolaires et universitaires, pour tisser des liens durables entre science et société (voir par exemple page 24 et quatrième de couverture).

Vous l'avez compris, les exemples sont nombreux, et de nouvelles perspectives scientifiques vont encore s'ouvrir avec les lignes NANOS-COPIUM ET ANATOMIX. Vous pouvez retrouver toutes ces informations, et beaucoup d'autres encore, sur notre site internet.

# L'insertion professionnelle des jeunes diplômés dans l'industrie :

## un enjeu stratégique pour SOLEIL

Au-delà de la formation (initiale ou par la recherche) des jeunes présents temporairement au sein de ses équipes, SOLEIL se préoccupe de leur insertion professionnelle dans 3 filières : directement à SOLEIL, dans les établissements de recherche publique ou encore dans l'industrie. Cette dernière voie d'insertion a fait l'objet du forum Recherche-Industrie qui s'est tenu à SOLEIL le 8 octobre dernier.



Signature de la « convention de collaboration scientifique et industrielle pour les infrastructures de recherche », entre l'association PIGES et les 3 établissements (IN2P3/CNRS, IRFU/CEA et SOLEIL). De gauche à droite : J.-L. Lancelot, Président de PIGES et dirigeant de la société SIGMAPHI ; Ch. Herbeaux, Directeur par intérim de la Division Services Techniques de SOLEIL ; J. Daillant, Directeur Général de SOLEIL ; M. Faury, Directrice-Adjointe du CEA Saclay, Direction des Sciences de la Matière ; A. Nadji, Directeur de la Division Sources et Accélérateurs de SOLEIL ; J. Martino, directeur de l'IN2P3, CNRS.

Le forum Recherche-Industrie a été mis en place à l'initiative de l'association des Partenaires Industriels des Grands Equipements Scientifiques (PIGES), regroupant 11 entreprises françaises intervenant dans le domaine de l'instrumentation scientifique et industrielle, dont 2 grandes entreprises (Air Liquide et THALES) et 11 PME ou groupes de PME, avec le soutien de ses 3 partenaires technologiques privilégiés du monde de la recherche, l'IRFU du CEA, l'IN2P3 du CNRS et SOLEIL.

L'objectif stratégique de ce forum était de générer une dynamique d'échanges entre les professionnels et les jeunes en cours de formation au sein des structures de recherche et qui ambitionnent de débiter leur carrière dans l'industrie. Il a été articulé autour de 4 temps forts :

- 1.** Présentation des domaines d'activités et des expertises de chaque entreprise membre de l'association PIGES, de manière à faire découvrir aux étudiants, aux élèves-ingénieurs et aux doctorants les activités industrielles vers lesquelles des passerelles sont envisageables pour de jeunes diplômés,
- 2.** Présentation de la dynamique d'emploi des 3 structures de recherche vis-à-vis de leurs stagiaires, apprentis et doctorants,
- 3.** Présentation par les jeunes en formation d'un panel de sujets de stage et de thèse en cours au sein des 3 structures de recherche, de manière à permettre aux industriels de l'association PIGES de découvrir de nouveaux talents susceptibles de faciliter l'intégration de dispositifs et de méthodes innovants applicables au sein de leurs entreprises,
- 4.** Discussions directes entre les dirigeants ou les représentants de ces entreprises et les jeunes en cours de formation dans les 3 structures de recherche.



Intervention de Sébastien Bousson, ingénieur à l'IPN d'Orsay, IN2P3/CNRS, lauréat de la médaille de cristal 2015 du CNRS.

Le forum a réuni au cours de la matinée plus de 60 participants et a permis de suivre une vingtaine de mini-exposés de 5 minutes. De nombreux contacts ont par ailleurs été établis entre les représentants des entreprises et les futurs diplômés. Les sujets de stage ou de thèse et les CV des jeunes indisponibles (en cours, en missions...) pour participer au forum mais intéressés par une insertion professionnelle dans l'industrie ont été remis au secrétaire de l'association PIGES.

Ce forum s'inscrit dans une démarche globale de soutien à la mobilité des personnels entre structures de recherche et entreprises industrielles. La mobilité externe de ses ingénieurs, chercheurs et doctorants vers l'industrie est pour SOLEIL un des 3 piliers de ses activités de valorisation de la recherche, les deux autres étant la recherche partenariale et le transfert des connaissances (savoir-faire, brevets, logiciels...).

→ **Contact :**  
[philippe.deblay@synchrotron-soleil.fr](mailto:philippe.deblay@synchrotron-soleil.fr)

## EN BREF

### ➤ DICHRO50 ET SATT

Le projet Dichro50 de SOLEIL fait partie des 10 projets sélectionnés par la SATT Paris-Saclay dans le cadre de son premier appel à projets Maturation 2014, à partir de 33 projets déposés par 14 établissements de l'Université Paris-Saclay. Dichro50, qui propose la valorisation d'un insert cryogénique porte-échantillons, est porté par la ligne de lumière DEIMOS de SOLEIL en partenariat avec deux laboratoires des Universités de Strasbourg et Pierre et Marie Curie et en relation avec la société essonnoise Cryoconcept.

### ➤ UN POUR SIX, SIX POUR UN

Le projet LUCRECE rassemble autour de SOLEIL deux laboratoires franciliens – le LAL à Orsay et l'IRFU à Saclay – et trois industriels membres de l'association des industriels français partenaires des grands équipements scientifiques (PIGES) – THALES Electron Devices, ALSYOM et SIGMAPHI Electronics.

Il a pour objectif de développer un ensemble radio-fréquence élémentaire fonctionnant en continu pour équiper des linacs à récupération d'énergie (ERL) ou des sources laser à électrons libres (LEL) femtoseconde.

# Une nouvelle année d'**animation scientifique à SOLEIL**

**À** l'occasion de cette Année Internationale de la Lumière, un nouvel atelier de médiation a vu le jour à SOLEIL. Basé sur le principe d'une « escape room », il propose à des enquêteurs en herbe de se munir d'un kit de lumières (laser, UV, visible) et d'aider le professeur Lampion à retrouver un objet perdu. Inauguré en mai 2015 au Salon de la Culture et des Jeux Mathématiques de Paris, il a ensuite remporté un franc succès à l'occasion de la Fête de la Science au gymnase du Moulon à Gif sur Yvette. L'édition 2015, organisée par l'association Île de Science du 9 au 11 octobre, a accueilli près de 3 000 personnes, dont 1 000 scolaires.

Des indices fluorescents dans le bureau du « professeur Lampion ».



Le mois de septembre a, comme tous les ans, été riche d'échanges avec le public extérieur. Dans le cadre des Journées Européennes du Patrimoine (JEP), les 19 et 20 septembre, SOLEIL s'est associé à la plateforme de recherche sur les matériaux anciens IPANEMA, voisine et partenaire du synchrotron, pour un week-end d'accueil du public organisé à l'initiative du Conseil Départemental de l'Essonne. Près de 150 personnes ont ainsi découvert IPANEMA et le synchrotron, et suivi l'atelier pédagogique « voir l'invisible », conçu par l'association ArkéoMédia, spécialisée dans la médiation en archéologie.

Une 4<sup>e</sup> édition du SOLEIL de Minuit s'est ensuite tenue à l'occasion de la Nuit des Chercheurs, le 25 septembre. Après avoir été guidés dans le synchrotron, les 450 visiteurs ont pu participer à l'atelier « Lumières Invisibles », série d'animations scientifiques et ludiques proposées par l'association « Les Atomes Crochus ». Toujours dans le thème « Lumière », une initiation à la harpe laser était également offerte à tous, avant le clou de la soirée : le concert donné par l'artiste Sylvain Bezia sur cet instrument rendu célèbre par Jean-Michel Jarre.

## SOLEIL au **Japon**

**S**OLEIL était invité par la Délégation de l'UE au Japon à participer à la 10<sup>e</sup> édition de « Science AGORA », la Fête de la Science qui se tenait à Tokyo du 13 au 15 novembre et a accueilli plus de 8 000 personnes. Ryutarō Nagaoka, responsable du groupe « Physique des accélérateurs » de SOLEIL, a pu présenter au public de tous âges le fonctionnement du synchrotron et la recherche menée sur les lignes.

Ryutarō Nagaoka devant le poster de présentation de SOLEIL.





## CHIFFRE-CLÉ

# 25

Le festival CuriositAS exposait fin septembre 25 œuvres issues d'une collaboration entre des artistes et des scientifiques. SOLEIL a remis un Prix à l'œuvre «  $C_{20}H_{10}Na_2O_5$  Effect », distinguée par le public dans la catégorie « Lumière ».

[www.ladiagonale-paris-saclay.fr/curiositas/](http://www.ladiagonale-paris-saclay.fr/curiositas/)

Jean Daillant, entouré des deux lauréates Barbara Fulneau et Carolyn Mortier, porte « l'urne » contenant les votes colorés du public.



© Angélique Gilson

“ Ma mission est d'assurer aux utilisateurs de SOLEIL un service opérationnel au travers d'applications de haut niveau pour le contrôle de leurs équipements et l'acquisition des données. ”

**Katy Saintin,**  
ingénieure  
IHM (Interface  
Homme  
Machine) Java,  
dans le groupe  
« Informatique  
de Contrôle  
et Acquisition »





## CORPES



La conférence internationale CORPES (strong correlation and angle resolved photoemission spectroscopy) s'est tenue du 5 au 10 juillet 2015 au Couvent des Cordeliers (Université Pierre et Marie Curie) à Paris. La conférence, organisée par le Synchrotron SOLEIL et pilotée par Véronique Brouet du Laboratoire de Physique des Solides (Orsay), a rassemblé plus de 150 participants venus de nombreux pays. Près de 50 orateurs internationaux sont venus exposer leurs recherches autour de la photoémission en matière condensée sur des systèmes corrélés (supraconducteurs tels que cuprates, pnictures de fer, isolants de Mott, semiconducteurs, fermions lourds, etc.) ou topologiques (isolants topologiques, graphène et matériaux 2D, semi-métaux de Weyl) avec un accent particulier sur certaines techniques en développement (phénomènes ultra-rapides, RIXS,

etc.). Les présentations orales ont été complétées par deux sessions posters.

Dans l'esprit du cycle CORPES, le programme scientifique panachait les exposés théoriques et expérimentaux en laissant une large place aux nouveaux développements instrumentaux et à la discussion.

Une visite de SOLEIL a été organisée lors de la troisième journée. Elle a permis à plusieurs groupes de conférenciers de visiter les lignes de SOLEIL qui utilisent la photoémission: ANTARES, CASSIOPEE, GALAXIES et TEMPO.

→ **Contact:**  
[veronique.brouet@u-psud.fr](mailto:veronique.brouet@u-psud.fr)



## Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI) 2015

La douzième édition de la conférence Synchrotron Radiation Instrumentation (SRI 2015), organisée par le Brookhaven National Laboratory (BNL), s'est tenue à New York du 6 au 10 juillet 2015. Cet événement triennal a rassemblé les chercheurs et ingénieurs de la communauté mondiale des centres de rayonnement synchrotron et lasers à électrons libres.

Pour l'ensemble des contributeurs, cette conférence est une occasion unique de présenter les derniers développements instrumentaux, méthodologiques et recherches associées à ces développements, et d'initier des collaborations et des échanges avec leurs confrères, mais aussi de rencontrer un très large panel de fournisseurs en instrumentation afin d'en découvrir les dernières nouveautés.

Préalablement à SRI2015, une visite a été organisée du nouveau synchrotron au National Synchrotron Light Source II (NSLS II), l'une des plus récentes installations de rayonnement

synchrotron située sur le site du Brookhaven National Laboratory à Upton (Long Island). Les visiteurs ont ainsi pu découvrir les sept premières lignes de lumière en opération, ainsi que les nouvelles installations en cours de montage ou de mise au point.

La conférence a attiré près de 800 participants. Au cours des différentes sessions plénières et parallèles, 189 orateurs ont présenté de nombreux résultats et perspectives dans des domaines très variés, comme la métrologie des optiques, les diagnostics de faisceau, les futurs plans d'upgrade des anneaux de stockage, l'acquisition et le



## ICON<sup>2</sup> – 2015

La première édition de la conférence internationale « Nouveaux nanomatériaux: ingénierie et propriétés » (ICON<sup>2</sup>) a été organisée au synchrotron SOLEIL en septembre 2015. Le comité d'organisation était coordonné par Mathieu Silly (SOLEIL), Stéphane Campidelli et Fabien Silly (CEA Saclay). Des chercheurs emblématiques, ainsi que des orateurs invités, ont rejoint la conférence pour des interventions passionnantes. L'événement a réuni 60 participants du monde entier, dont le Japon, Singapour, Royaume-Uni, Arabie-Saoudite, Allemagne, Italie et Belgique.

La conférence était divisée en trois sessions: la première dédiée aux expériences synchrotron résolues en temps; les deux suivantes consacrées à l'ingénierie et la caractérisation des nanomatériaux et de leurs applications dans la conversion et le stockage de l'énergie.

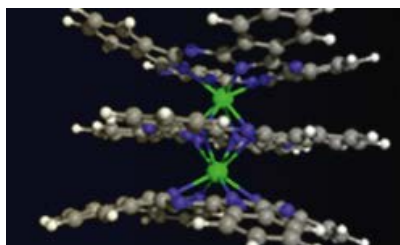
La conférence ICON<sup>2</sup> 2015 a permis de faciliter la discussion et les interactions scientifiques sur des problèmes liés à l'ingénierie et la caractérisation des nanomatériaux ainsi qu'à leurs éventuelles applications. Cette conférence a ainsi fourni une plateforme permettant aux personnes travaillant dans ce

domaine de partager leurs connaissances et leurs expériences respectives et de développer de nouvelles idées visant à améliorer les technologies des nanomatériaux.

L'objectif d'ICON<sup>2</sup> était également de valoriser le travail remarquable de jeunes scientifiques prometteurs. Le prix de la meilleure présentation orale de doctorat a été remis à David Peyrot (CEA) et Géraud Delport (ENS Cachan) pour leurs présentations respectives sur les nano-architectures hybrides à la surface du métal et sur les effets de l'organisation supramoléculaire dans la molécule de porphyrine. Le prix du meilleur poster est revenu à Heejae Lee (École Polytechnique), qui présentait ses travaux sur les cellules solaires pérovskite.

**ICON<sup>2</sup> 2015 a été organisé grâce au soutien financier de SOLEIL, CEA-IRAMIS, Campus Paris-Saclay, C'Nano IdF, Dim Nano-K, Labex NanoSaclay et Scienta-Omicron.**

→ **Contact:**  
mathieu.silly@synchrotron-soleil.fr



# ICON<sup>2</sup>-2015

International conference on  
« Novel nanomaterial: engineering and properties »

9<sup>th</sup> to 11<sup>th</sup> of September 2015

Synchrotron SOLEIL

traitement de larges volumes de données, la microscopie et la nanoscopie, ou encore les applications biomédicales. 438 posters ont également été exposés, au cours de sessions riches d'échanges entre collègues du monde entier.

Outre la participation au comité international et au comité scientifique de SRI, SOLEIL était représenté par 12 scientifiques, des lignes de lumière mais également des groupes Magnétisme et Insertion, Instrumentation, Optique, Détecteurs et du Laboratoire de Surfaces. Nos développements les plus récents, comme le wiggler sous vide de la ligne Psiché, les détecteurs pixels pour les rayons X de haute énergie, les monochromateurs multicouches à

réseau, les développements optiques pour les lignes infra-rouges, l'utilisation du rayonnement cohérent THz sur AILES, ainsi que les possibilités offertes par les lignes SEXTANTS, SIRIUS, LUCIA, la construction d'ANATOMIX et l'instrumentation pour la nanotomographie ont ainsi été exposés.

Les tout premiers résultats de détection de l'interaction laser-électrons en utilisant la technique du FemtoSlicing sur la ligne CRISTAL pour générer des impulsions X d'une centaine de femtosecondes ont également été présentés.

La conférence s'est clôturée sur l'annonce de la prochaine édition de SRI, qui sera organisée par la Taiwan Photon Source et se tiendra en mai 2018 à Taipei.



## PÉDAGOGIE

# Lumière vers le Primaire

La médiation scientifique est l'une des missions de SOLEIL qui, depuis plus de 10 ans, se veut un levier pour la dissémination de la culture scientifique et technique. 2015, Année de la Lumière, a été l'occasion de développer un nouveau projet, destiné aux élèves de 8 à 11 ans et à leurs enseignants.



**D**ès 2002, alors que ses installations n'étaient pas construites, SOLEIL allait déjà à la rencontre des élèves : des ateliers pédagogiques étaient proposés aux classes de Collèges et Lycées de la Région Île-de-France. Cette approche, basée sur le lien enseignement/recherche, n'a cessé de se développer et, depuis 2004, ce sont les élèves et étudiants (plus de 3 000 des quelque 5 000 visiteurs annuels) qui viennent au synchrotron pour suivre des présentations interactives adaptées à chaque âge et niveau, échanger avec les équipes de SOLEIL et visiter les installations scientifiques. Une occasion de rendre plus concrète la science pour tous ces jeunes.

Le public auquel s'adresse cette démarche avait jusque-là plus de 12 ans. Le projet « Lumière(s) Primaire(s) » a pour but d'élargir ce spectre, en s'adressant aux élèves du CE2 au CM2.

Le contact a lieu par le biais des enseignants, à qui sont proposées des formations et des expériences de sensibilisation à la science. À leur tour, ils peuvent alors présenter aux élèves plusieurs séquences pédagogiques, avec démarche d'investigation : partir de ce que les enfants savent (ou croient savoir) sur les thématiques « lumière, ombre, couleur » pour faire émerger un questionnement, dont les réponses seront apportées par l'expérimentation. Autrement dit : acquérir des notions en science !

Pour ce faire, une malle pédagogique est mise à la disposition des enseignants, contenant le matériel néces-

saire pour concevoir et réaliser, par petits groupes, ces expériences.

Cerise sur le gâteau : les enfants pourront, en conclusion des séquences pédagogiques, préparer un spectacle dans un théâtre d'ombres conçu spécialement pour le projet. À la confluence entre art et sciences.

→ **Contact :**  
valerie.peduzy@synchrotron-soleil.fr



## Le projet en 3 points

- 1** Lumière(s) Primaire(s) a été élaboré dans le cadre d'un partenariat entre SOLEIL et la Direction des Services de l'Éducation Nationale des Yvelines, avec la collaboration de 3 professeures des écoles des Yvelines et d'une conseillère pédagogique.
- 2** Les élèves (CM2) des enseignantes impliquées ont été les premiers à expérimenter l'atelier : séquences « Ombre » pour l'école Poirier-Saint-Martin (Montigny-le-Bretonneux), « Lumière » à l'école Francis Poulenc (Guyancourt) et « Couleur » pour l'école du Bois de la Garenne (Voisins-le-Bretonneux).
- 3** En 2015-2016 le projet sera étendu à une dizaine de classes des Yvelines, avant d'être mis en place dans d'autres départements, dont l'Essonne, les années suivantes.