

N°24

# LE RAYON DE SOLEIL

LE JOURNAL DU SYNCHROTRON

## SOLEIL, la lumière comme instrument

### 04 LA RECHERCHE À SOLEIL

Mieux comprendre  
la dégénérescence  
tissulaire

### 12 SAVOIR FAIRE

Une équipe au cœur  
des performances du  
synchrotron

### 24 SCIENCE ENSEMBLE

La mission de  
médiation de SOLEIL



04

**LA RECHERCHE  
À SOLEIL**

Mieux comprendre la dégénérescence tissulaire avec la lumière ultraviolette



06

Le dispositif d'acquisition CAESAR sur la ligne PSICHE

09

**SAVOIR FAIRE**

La lumière visible au service de la lumière invisible



15

**DOSSIER  
SOLEIL,  
la lumière  
comme  
instrument**

22

**INNOVATIONS**  
Un démonstrateur « Smart Building » à SOLEIL



23

**LA SCIENCE ENSEMBLE**

Des actions variées pour continuer la mission de médiation de SOLEIL



28

**DU SOLEIL  
DANS NOTRE VIE**

SOLEIL s'implique dans la beauté et le bien-être humains



**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 s'annonce comme une année particulièrement riche pour l'ensemble de la communauté synchrotron suite à la décision de l'ONU d'en faire « l'Année Internationale de la Lumière et des Techniques utilisant la Lumière ». Cette thématique est omniprésente dans la société actuelle, mais aussi à SOLEIL, que ce soit au niveau de la division Sources et Accélérateurs, ou sur l'ensemble des lignes de lumière. Parmi celles-ci, la ligne ROCK, dédiée à l'étude de la catalyse et des batteries, accueillera ses premiers utilisateurs au printemps 2015. Les deux lignes longues d'imagerie haute résolution, ANATOMIX et NANOSCOPIUM, devraient quant à elles être opérationnelles en 2016. Enfin, la ligne PUMA a reçu ses premiers photons début novembre, portant à 29 le nombre de lignes de lumière disponibles. L'occasion est donc idéale pour faire le point sur les propriétés extraordinaires de la lumière utilisée à SOLEIL : spatiales, temporelles ou énergétiques. Cette lumière nous permet de repousser toujours les échelles d'étude, de regarder des processus de plus en plus courts, et d'imager des structures toujours plus petites. La lumière à SOLEIL est façonnée pour proposer de nouvelles expériences et perpétuer l'excellence scientifique du synchrotron. Vous retrouverez donc les différents dispositifs utilisés à SOLEIL, ou en passe de l'être. En parallèle, SOLEIL participera à de nombreux événements à l'occasion de cette année 2015, et renforcera encore ses actions de médiation auprès d'un large public. Visites, conférences, vidéos pédagogiques, journées scientifiques, ateliers pour les plus jeunes seront autant d'atouts qui nous permettront d'être les ambassadeurs de la science en train de se faire.

## INTERNATIONAL

**Nouveaux accords de collaboration**

Khaled Toukan à droite, Directeur Général de SESAME, et Jean Daillant à gauche, Directeur Général de SOLEIL, signent le nouvel accord de collaboration.



En 2014, SOLEIL a renforcé sa volonté de promouvoir la collaboration scientifique internationale. Un premier accord a été signé le 19 septembre avec SESAME, future source de rayonnement synchrotron 3<sup>e</sup> génération au Moyen-Orient. SOLEIL, qui soutient le projet depuis ses débuts, s'est engagé à concevoir et construire « un amplificateur de puissance radio-fréquence à transistors » pour son homologue au Moyen Orient.

Un mémorandum d'entente a par ailleurs été signé le 14 octobre avec le Centre Franco-Indien pour la Promotion de la Recherche Avancée (CEFIPRA), afin d'encourager et faciliter les projets scientifiques indiens qui pourraient être menés à SOLEIL.

## FRANCE

**Région Centre**

Très tôt dans l'histoire de SOLEIL la Région Centre a souhaité participer au projet, aux côtés de ses membres fondateurs, le CNRS et le CEA, et de ses partenaires territoriaux, la Région Ile-de-France et le Conseil général de l'Essonne.

Une convention signée dès le début de la construction du synchrotron a fait de la Région Centre un partenaire supplémentaire et privilégié de SOLEIL, en participant au développement de trois de ses lignes de lumière.

La collaboration continue, via notamment 8 projets scientifiques entre SOLEIL et des laboratoires de la Région Centre (CBM, CEMHTI, CRMD, ISTO, I3MTO à Orléans et GREMAN à Tours) reflétant la pluridisciplinarité et le dynamisme de la recherche menée.

**EN BREF**

➤ **ACCÉLÉRATEURS**

Du 15 au 19 septembre 2014, SOLEIL organisait avec l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA) une semaine de réflexion sur le management des accélérateurs. Objectif : réunir spécialistes des accélérateurs (CERN, SOLEIL, ALBA, DESY...) et représentants de pays intéressés par ces instruments (Afrique du Sud, Australie, Bulgarie, Hongrie, Jordanie, Pologne, Turquie). Au final, les 49 participants contribueront à la rédaction d'un guide du management des accélérateurs.

➤ **500 mA!**

Les tests de fonctionnement et d'utilisation avec un courant de 500 mA dans l'anneau de stockage se sont révélés concluants au mois de septembre 2014. Les lignes pourront utiliser cette nouvelle intensité du faisceau d'électrons (au lieu de 430 mA), à chaque fois que le remplissage uniforme est demandé. Une performance qui place SOLEIL dans le peloton de tête des sources de lumière dans le monde.

## MICROSCOPIE UV

# Mieux comprendre la dégénérescence tissulaire

avec la lumière ultraviolette

un photon + un photon = un photon

**L**es dégénérescences tissulaires apparaissent dans de nombreux stades précoces de pathologies. Mieux les appréhender permet de poser un diagnostic plus précoce. La répartition des fibres dans les tissus peut être mesurée en utilisant des méthodes de microscopie photonique optiques de pointe. Première technique : la fluorescence induite par excitation biphotonique et la microscopie de génération de seconde harmonique. Lorsque deux photons sont focalisés dans un femtovolume pendant un temps inférieur à la picoseconde, des phénomènes non-linéaires apparaissent : les deux photons peuvent s'additionner pour être absorbés par une molécule normalement excitable par un photon d'une énergie double. De plus, une diffusion non-linéaire avec des règles de sélection propres génère une harmonique secondaire (signal SHG).

Seconde technique utilisable : la microscopie de fluorescence dans la gamme des ultraviolets profonds (DUV) produits par rayonnement synchrotron.

Ces deux techniques ont été installées sur la ligne DISCO de SOLEIL afin de comparer les informations qu'elles apportent respectivement sur plusieurs types de tissus.

## Queue de rat et foie de souris

Le tendon de queue de rat, très riche en collagène, est un bon exemple d'étude pour comparer la complémentarité d'informations obtenues par les deux techniques. On voit ainsi (figure 1) qu'il est possible d'imager rapidement le collagène fibrillaire, le collagène non

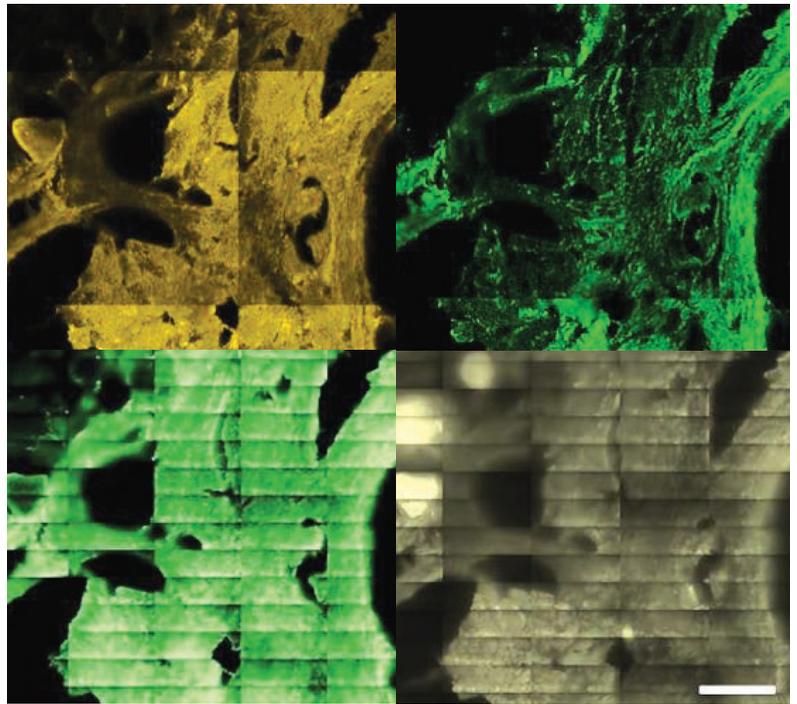


Figure 1. Tendon de queue de rat observé suivant différentes modalités d'imagerie UV sur DISCO (excitation biphotonique en haut et monophotonique en bas). Collagène fibrillaire (haut gauche). NADH et FAD (haut droite). Collagène, élastine et NADH (bas gauche). Collagène et acides aminés aromatiques (bas droite). La barre d'échelle est de 100  $\mu\text{m}$ .

fibrillaire, les acides aminés aromatiques ainsi que le NADH et le FAD.

Après avoir mis au point la technique sur ce modèle d'étude il devenait intéressant de regarder son application sur un premier type de pathologie. Le Centre Hépatobiliaire de l'APHP (Kremlin Bicêtre), Université Paris Sud, INSERM, a préparé un modèle de

dégénérescence tissulaire chez la souris avec une gradation de la maladie, qui débute par une simple stéatose, évolue en stéatose hépatique non-alcoolique (NASH) puis en fibrose, et peut conduire à une cirrhose et finalement un hépatocarcinome.

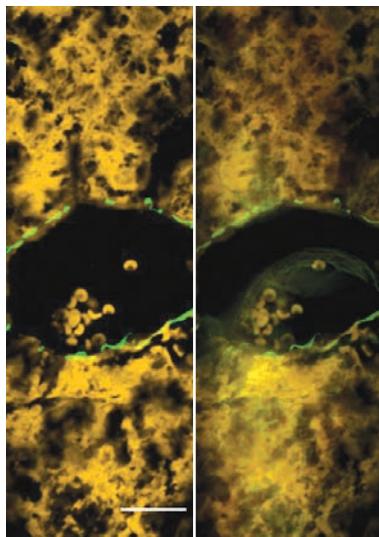


Figure 2. À gauche : les UV obtenus par excitation biphotonique sont spécifiques uniquement du collagène fibrillaire (en vert) et ne détectent pas le collagène non fibrillaire observable (à droite) en excitation monophotonique (en vert au centre).

## Des techniques aux résultats complémentaires

La complémentarité des deux techniques devient évidente sur la figure 2 où le collagène non-fibrillaire qui supporte les hématies dans la veine n'est pas visible en excitation biphotonique. Grâce à cette dernière on peut donc imager aisément le collagène fibreux de type I et II mais on ne détecte pas les autres types de collagène. La technique monophotonique en UV profond met de son côté en évidence tous les types de collagène, sans discrimination. La combinaison de ses deux modalités de microscopie sur la même zone de tissu offre une meilleure vue d'ensemble des collagènes fibrillaires dans les pathologies.

La figure 3 confirme que le collagène observable en excitation SHG est surtout structurant, c'est-à-dire qu'il correspond principalement aux limites du tissu, à l'encadrement des veines (haut de la figure). En revanche, le collagène observable en excitation UV

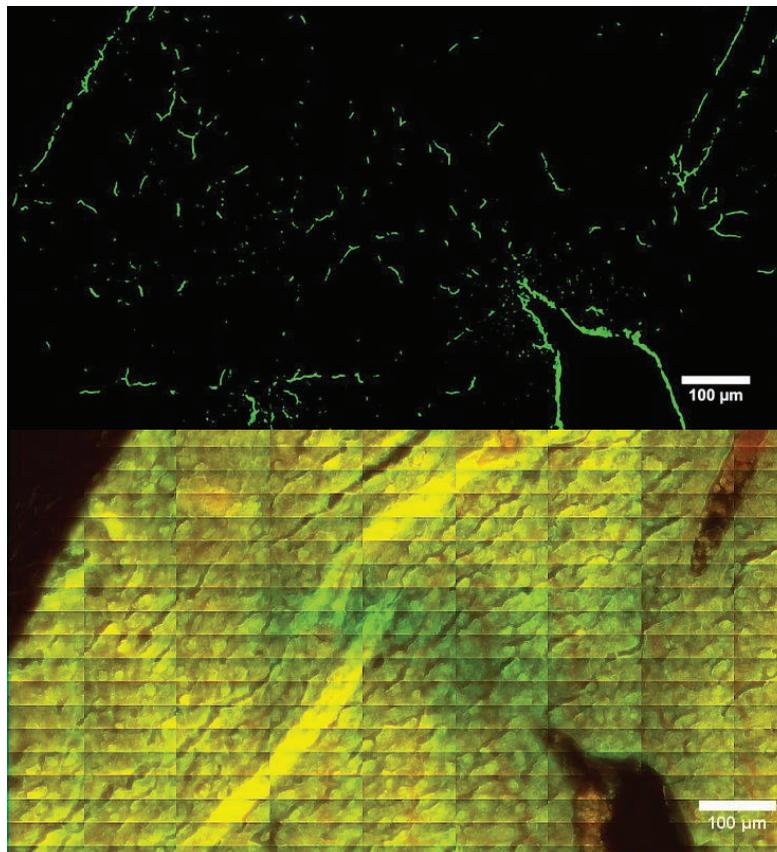


Figure 3. Tissu de souris NASH en excitation SHG (haut) et en excitation ultraviolette monophotonique (bas).

monophotonique n'est pas uniquement structurant, on peut donc relier la quantité de collagène mesurée dans chaque image au grade de la maladie. Il a ainsi été observé chez toutes les souris atteintes de NASH une augmentation du développement du collagène total.

Les résultats obtenus montrent que certains types de collagène du foie peuvent être quantifiés en utilisant la microscopie de génération de seconde harmonique (SHG). La microscopie DUV est moins spécifique que le SHG, cependant, elle permet de détecter toutes les protéines et plus de classes de collagène. Il est à noter que, à la connaissance des chercheurs impliqués, la combinaison de ces trois techniques est utilisée pour la première fois pour l'analyse histologique du foie. Une augmentation du développement du collagène a ainsi été observée dans le foie des souris NASH.

Au-delà de ces premiers résultats, cette combinaison de techniques peut facilement être utilisée sur d'autres pathologies que les maladies hépatiques, pathologies impliquant également une dégénérescence tissulaire.

→ **Contact:**  
matthieu.refregiers@synchrotron-soleil.fr

Référence :  
**Zubkovs, V. et al.**  
Analyst, 139(11): 2663 (2014).

PSICHÉ

# Le dispositif d'acquisition CAESAR sur la ligne PSICHE

## diffraction X sous conditions extrêmes en cellule gros volume

Le nom de PSICHÉ, Pression Structure et Imagerie par Contraste à Haute Énergie, résume les thèmes de la ligne : la diffraction des rayons X sous conditions extrêmes de pression (couplées ou non à la température) et la tomographie plein champ par absorption des rayons X (imagerie 3D). Ici sera présentée uniquement la première application.

### La Diffraction X en dispersion d'énergie

La loi de Bragg permet de relier la distance entre les plans réticulaires, l'angle de diffraction et la longueur d'onde des photons diffractés :  $2d \sin\theta = \lambda$  que l'on peut réécrire en introduisant l'énergie  $E$  des photons (en keV)  $d = 6.199/(E \sin\theta)$ .

On voit ici que l'énergie et le sinus de l'angle de diffraction jouent un rôle similaire. La diffraction classique (dispersion angulaire) fixe  $E$  et fait varier  $\theta$ . La diffraction en dispersion d'énergie fixe  $\theta$  et fait varier  $E$ . Pour

cela il faut que toutes les énergies soient présentes dans le faisceau diffracté (c'est le cas pour un faisceau blanc) et que le détecteur puisse analyser l'énergie des photons diffractés à un angle fixé (c'est le cas pour le détecteur Germanium (Ge) employé sur PSICHÉ qui, couplé à un analyseur multicanal, permet de compter le nombre d'événements à une énergie donnée).

La figure 2 représente le montage de diffraction en dispersion d'énergie monté sur le système CAESAR. On y voit les fentes d'entrée et de sortie qui définissent le faisceau incident et l'angle de diffraction, la cellule haute pression

de type Paris-Edinburgh et le détecteur Ge qui analyse l'énergie des photons et les compte. Le système CAESAR permet de changer l'angle de diffraction entre 0 et 30° avec un cercle de confusion inférieur à 20  $\mu\text{m}$ . En effectuant une acquisition en dispersion d'énergie pour chaque pas angulaire, on obtient un diagramme à trois dimensions dont les axes sont l'angle de diffraction, l'énergie des photons et l'intensité de la diffraction (figure 3 haut). On peut le lire en le coupant à un angle donné (dispersion d'énergie), à une énergie donnée (dispersion angulaire) ou, en utilisant la loi de



Figure 1. Wiggler multi-pôles WS50.

La ligne PSICHÉ de SOLEIL a pour originalité d'avoir comme source un wiggler multi-pôles sous vide (ci-contre), développé par le groupe Insertions de la Division Sources et Accélérateurs<sup>1</sup>. Les propriétés intrinsèques du wiggler comme élément d'insertion donnent à la ligne des caractéristiques spécifiques en termes de bande passante, de flux et d'énergie critique. En particulier la possibilité d'utiliser un faisceau blanc avec des photons jusqu'à 80 keV ouvre des perspectives uniques à ce jour à SOLEIL, aussi bien en diffraction des rayons X qu'en tomographie. Par ailleurs la ligne peut aussi produire un faisceau monochromatique jusqu'à des énergies dépassant les 50 keV, ce qui offre, là aussi, des propriétés spécifiques à la ligne.

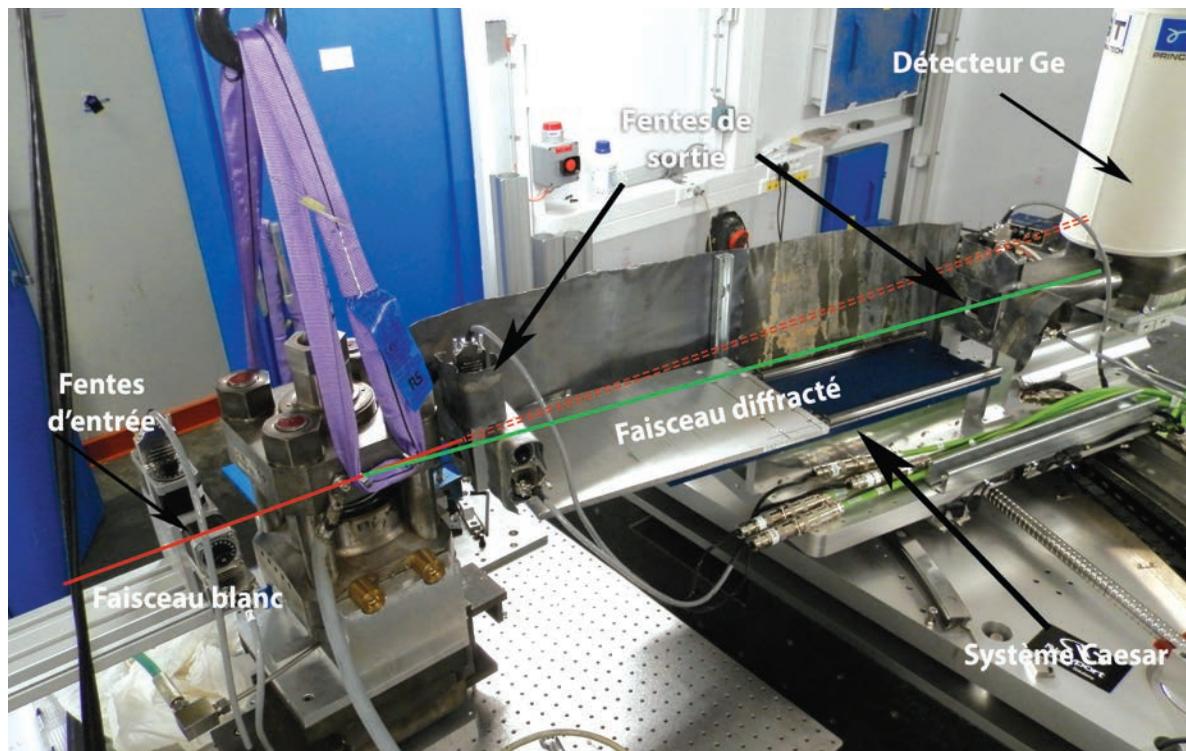


Figure 2. Montage de diffraction en dispersion d'énergie monté sur son système CAESAR.

Bragg, en fonction de  $d$  (figure 3, milieu, en coordonnées logarithmiques). Finalement on obtient un spectre de diffraction classique en fonction de la distance inter-réticulaire qui rassemble l'ensemble des données obtenues à tout angle et toute énergie (figure 3 bas).

On voit donc que l'on peut enregistrer les spectres soit en utilisant le système CAESAR, soit simplement en dispersion d'énergie, ce dernier mode étant beaucoup plus rapide (quelques secondes peuvent suffire dans certains cas). Lors d'une expérience sous pression, les spectres en dispersion d'énergie sont suffisants pour déterminer l'évolution des paramètres de maille du matériau comprimé, ceux-ci ne dépendant que de la position des pics de diffraction. Par contre si une nouvelle structure apparaît (modification des pics de diffraction) alors la dispersion d'énergie n'est plus adaptée car peu compatible avec les affinements de Rietveld qui utilisent les intensités de pics de diffraction. Dans ce cas on peut comme

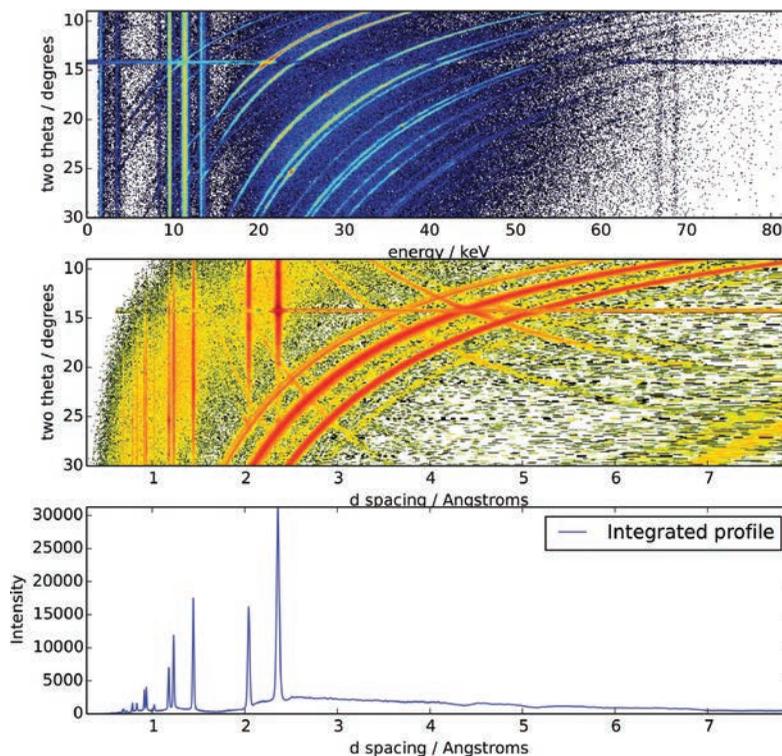
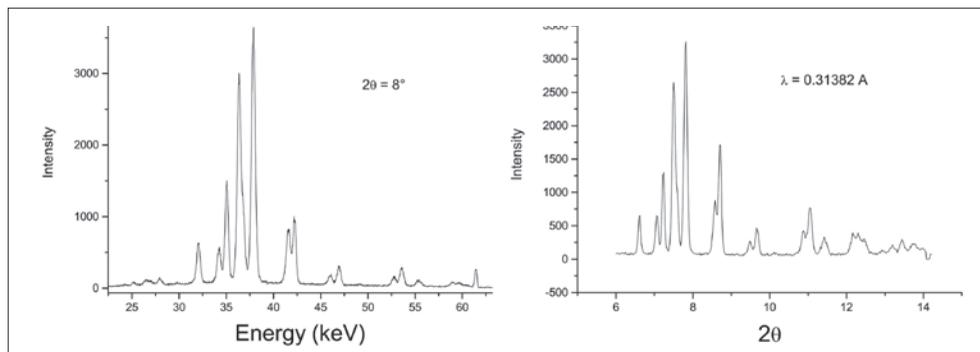


Figure 3. Acquisition « CAESAR » d'une feuille d'or entre 4 et 14°.



**Figure 4. Spectre de diffraction X en dispersion d'énergie et en dispersion angulaire d'un échantillon de carbure de magnésium synthétisé sous haute pression et haute température (O. Kurakevych et Y. Le Godec).**

nous le verrons plus loin utiliser le système CAESAR pour obtenir un spectre en dispersion angulaire et faire un affinement de Rietveld pour trouver la nouvelle structure.

### Synthèse d'un nouveau carbure de magnésium

Les carbures de magnésium sont des composés intéressants, tant du point de vue fondamental qu'appliqué. Du point de vue de la recherche de nouveaux matériaux avancés, le système Mg-C apparaît prometteur (chaîne de carbone polymérisé, graphite intercalé par du magnésium, clathrate de carbone...). Cependant à pression ambiante les réactions entre le carbone et le magnésium ne sont pas favorables. C'est pourquoi l'équipe de l'IMPMC, UPMC (O. Kurakevych, Y. Le Godec) en collaboration avec l'équipe de PSICHÉ, a développé des méthodes de synthèse sous haute pression de carbure de magnésium dans une cellule Paris-Edinburgh en suivant *in situ* par diffraction X les réactions entre les matériaux. La figure 4 montre le même spectre en dispersion d'énergie (à  $2\theta = 8^\circ$ ) et en dispersion angulaire (à  $\lambda = 0.313 \text{ \AA}$ ) d'un échantillon synthétisé sous pression dans une cellule Paris-Edinburgh et mesuré avec le système CAESAR sur la ligne PSICHÉ. On peut remarquer la ressemblance des spectres mais on observe également que le fond est plat pour le spectre en dispersion angulaire. Ce dernier peut être utilisé pour effectuer un affinement de Rietveld ce qui a été fait, montrant l'existence d'un nouveau type de carbure de magnésium (figure 5).

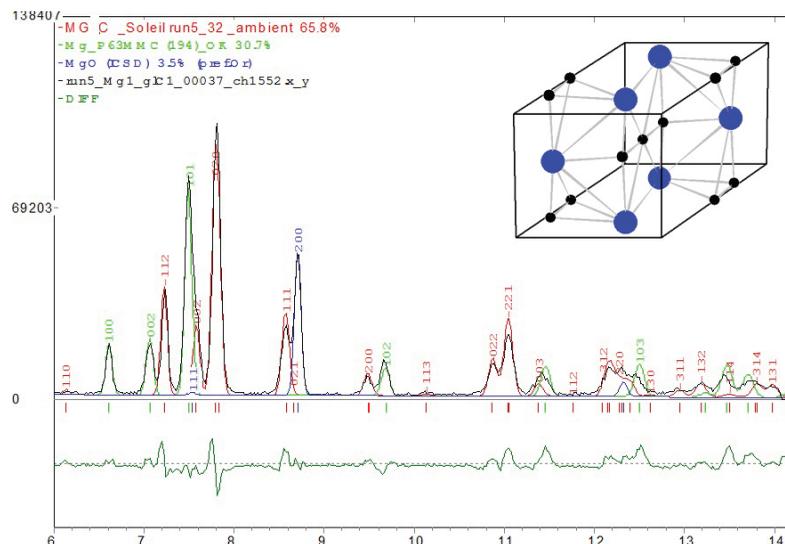
Ceci montre que le système CAESAR est très bien adapté pour suivre *in situ* les modifications de structure et les synthèses de nouveaux matériaux. Le fait de pouvoir effectuer des mesures à différentes pressions et températures est un point essentiel pour optimiser le chemin thermodynamique le plus efficace pour arriver au produit final, récupérable dans les conditions ambiantes. Le gain de temps par rapport à une analyse post-mortem est considérable, ce qui permet d'envisager des synthèses nécessitant l'utilisation de 3 paramètres : composition, température et pression.

On voit que le système d'acquisition CAESAR développé sur la ligne PSICHÉ en faisceau blanc est parfaitement adapté aux mesures de diffraction à haute pression et haute température en cellules dites gros volume. L'exemple montré ici a été fait en cellule Paris-Edinburgh. D'autres expériences ont été réalisées dans une cellule multi-enclumes, spécialement dessinée pour la ligne, et qui permet d'effectuer des mesures à plus haute pression. Récemment une équipe du laboratoire de Magmas et Volcans de l'université de Clermont-Ferrand a pu atteindre des pressions de 25 GPa à 2300 °C et observer la fusion d'un composé du manteau terrestre dans ces conditions thermodynamiques.

→ **Contacts :**  
[jean-paul.itie@synchrotron-soleil.fr](mailto:jean-paul.itie@synchrotron-soleil.fr)  
[nicolas.guignot@synchrotron-soleil.fr](mailto:nicolas.guignot@synchrotron-soleil.fr)

#### Références :

- O. Marcouille et al.**  
Phys. Rev. ST Accel. Beams 16, art. 050702 (2013).
- T.A. Strobel et al.**  
Inorg. Chem 53 (13), 7020 (2014).



**Figure 5. Affinement de Rietveld de la phase monoclinique du carbure de magnésium dans la cellule HP<sup>2</sup>.**

ZOOM SUR

# La lumière visible

## au service de la lumière invisible



**L**e laboratoire de métrologie du Groupe Optique utilise la lumière visible pour scruter les optiques installées sur les lignes de lumière. Les optiques focalisantes sont, dans la plupart des cas, des miroirs, utilisés en incidence rasante. Elles sont donc très allongées dans le sens de propagation du faisceau de rayons X. Grâce à la lumière visible, le laboratoire fournit les « GoogleMaps » nécessaires à la validation des optiques avant montage : la surface de ces miroirs doit être cartographiée à toutes les échelles allant de la dizaine de centimètres jusqu'au nanomètre. Pour cela, plusieurs outils de mesure sont nécessaires et proviennent de méthodes d'analyse différentes.

Le laboratoire de métrologie est installé dans une salle blanche, c'est-à-dire à empoussièrement, hygrométrie et température contrôlés. En effet, la poussière absorberait le rayonnement X, les

variations de température et d'hygrométrie perturberaient la qualité des faisceaux de mesure.

L'histoire du laboratoire débute à LURE en 1996 avec le développement du profilomètre optique (Long Trace Profiler) capable de caractériser les rayons de courbure et les défauts de grande échelle ( $> 1$  mm) qui perturbent directement la géométrie du faisceau focalisé. Sa résolution est de l'ordre de 2 nm. Lorsque que le LTP a été transféré à SOLEIL fin 2005, d'autres instruments sont venus enrichir le laboratoire pour compléter la gamme d'échelles observables. Depuis, trois interféromètres à balayage de phase à grandissements complémentaires, un analyseur de front d'onde de type Shack-Hartmann et un microscope à force atomique ont été installés dans le laboratoire. Ces instruments ont été développés par le Groupe Optique ou proviennent d'instruments commerciaux fortement modifiés.

Le premier challenge a été d'assurer la caractérisation des 250 optiques installées sur les lignes de lumière avec une incertitude sur les hauteurs inférieure à 5 nm.

Le développement des sources de lumière produisant un rayonnement limité par la diffraction (cf. p.21 bas) est un nouveau challenge pour le laboratoire, car les futures optiques de SOLEIL ne devront pas altérer la qualité de ce rayonnement. L'incertitude sur les erreurs de mesure devra être inférieure à 1 nm. De récents développements en instrumentation et en méthodes d'analyse ont permis au Groupe Optique d'obtenir des incertitudes inférieures à 2 nm ! Atteindre ce dernier nanomètre est le défi qu'il faudra relever et qui maintiendra le laboratoire au meilleur niveau mondial.

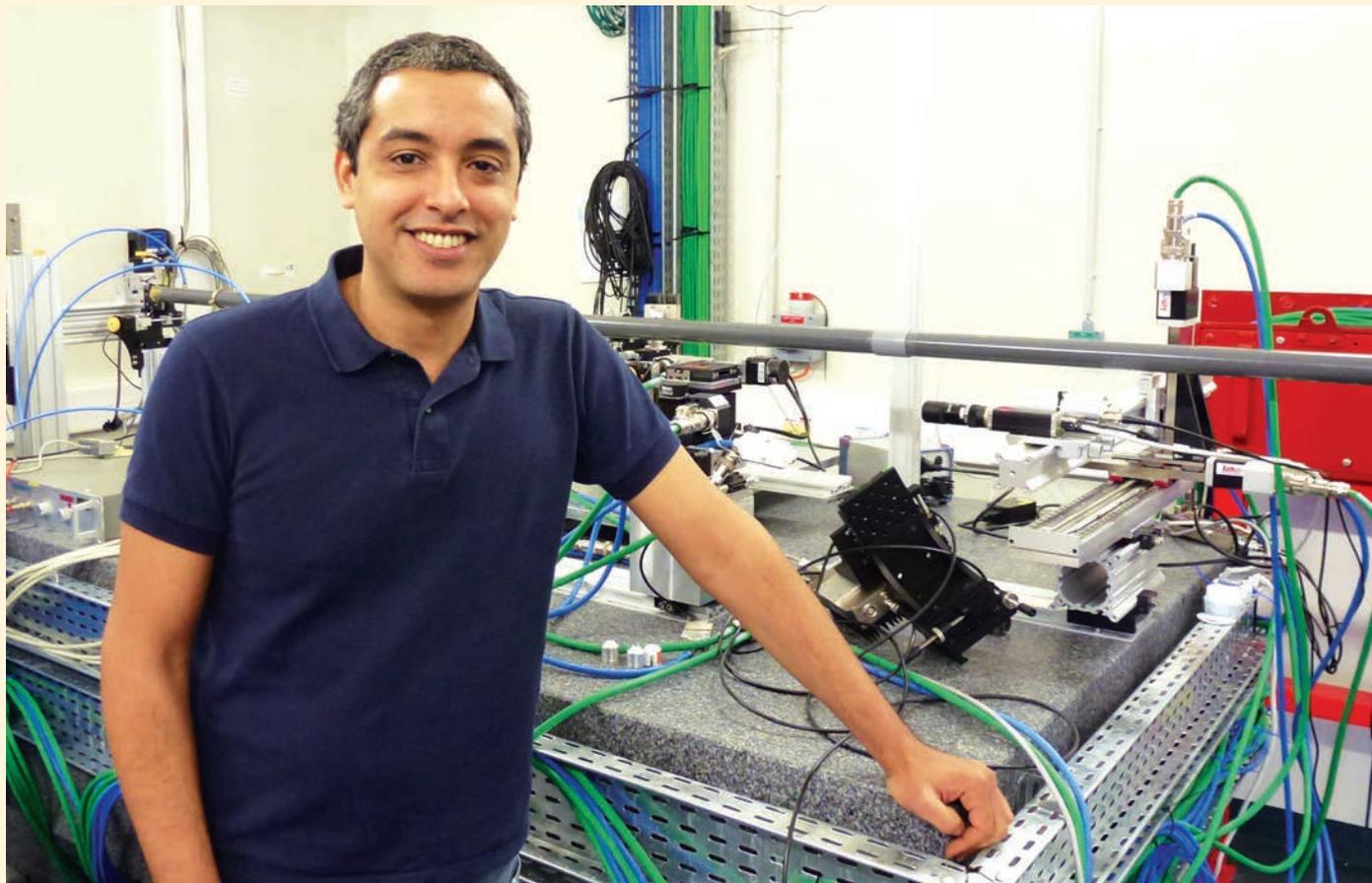
→ **Contacts :**

sylvain.brochet@synchrotron-soleil.fr  
muriel.thomasset@synchrotron-soleil.fr  
francois.polack@synchrotron-soleil.fr

## PORTRAIT D'EXPERT

# Kadda MEDJOUBI,

scientifique sur la ligne NANOSCOPIUM



Recruté à SOLEIL au sein du groupe Détecteurs en 2004, Kadda Medjoubi, titulaire d'un doctorat de physique dans le domaine de l'imagerie par rayons X, est depuis 2012 scientifique sur la ligne longue NANOSCOPIUM. Un parcours toujours à pleine vitesse pour ce scientifique qui a su conserver le frisson de sa thèse en allant de défi en défi.

### Quel est votre parcours ?

J'ai réalisé l'ensemble de mes études à l'université d'Orsay. Durant celles-ci, j'ai eu l'opportunité de réaliser tous mes stages sur des projets du LHC liés aux détecteurs pour la physique des hautes énergies. C'est à cette époque que j'ai développé un intérêt fort pour la physique de l'interaction particules-matière les détecteurs et leur modélisation.

C'est donc dans ce domaine, en partie, que je me suis plongé et ai effectué ma thèse au sein d'une petite équipe de 4 personnes dirigée par Georges Charpak, dans la start-up Biospace (EOS imaging aujourd'hui). En partie, car j'ai découvert un domaine tout aussi passionnant : l'imagerie. L'objectif (réussi) de ma thèse était de développer un système d'imagerie

médicale (encore commercialisé aujourd'hui) permettant l'acquisition d'images radiographiques en limitant la dose de rayons X absorbée par le patient.

### Comment êtes-vous arrivé à SOLEIL ?

Après ma thèse, je suis parti à Grenoble pour effectuer un post-doctorat à l'Institut Laue-Langevin

de Grenoble où j'ai en particulier travaillé sur le développement d'un grand détecteur à neutrons pour la bio-cristallographie. C'était ma première expérience dans une structure accueillant des utilisateurs. On m'a proposé un poste permanent, mais en parallèle une opportunité s'est présentée au sein du groupe Détecteurs de SOLEIL. Le milieu du synchrotron m'a très vite intéressé, car il m'offrait à la fois l'opportunité de revenir aux rayons X et une voie pour retourner vers l'imagerie X.

### En quoi a consisté votre travail pendant ces 8 années ?

En tant que physicien du groupe Détecteurs, j'ai travaillé en grande partie sur les détecteurs bidimensionnels pour les X durs, en étroite collaboration avec les collègues des lignes de lumière. Grâce à l'expérience acquise durant ma thèse sur les théories de transfert de contraste et de bruit dans les systèmes d'imagerie, j'ai pu développer et mettre en pratique des méthodes, non courantes dans le monde du synchrotron, permettant d'optimiser le fonctionnement d'un grand nombre des détecteurs bidimensionnels utilisés sur les lignes. J'ai également été largement impliqué dans l'aventure XPAD3 (Rayon de SOLEIL n° 21, p. 20), un détecteur 2D à comptage de photons. Un projet de R&D passionnant, riche en potentialités nouvelles, réalisé en collaboration avec notamment les équipes du Centre de Physique des Particules de Marseille avec qui je garde encore aujourd'hui des liens très étroits. Ma connaissance en modélisation analytique des interactions du rayonnement X, combinée à mon expérience en instrumentation, m'ont permis de développer et d'explorer avec ce type de détecteur de nouvelles méthodologies expérimentales comme l'imagerie couleur pour la diffraction de Laue en collaboration avec PROXIMA 1, PSICHE et METROLOGIE<sup>1</sup>. Cette compétence

multiple m'a permis d'être un acteur moteur du projet FLYSCAN (cf. Rayon de SOLEIL 22, p. 9) en collaboration étroite avec la ligne NANOSCOPIUM et les groupes Informatique et Électronique de Contrôle et Acquisition de SOLEIL. Le FLYSCAN m'a conduit vers les expériences de microscopie X multi-techniques par balayage rapide. Ce projet, extrêmement ambitieux et qui représente pour SOLEIL un énorme challenge, a été pour moi une opportunité pour revenir à l'imagerie proprement dite. Par « plaisir » (en plus des tâches liées à mon poste au groupe Détecteurs) j'ai réalisé des développements algorithmiques et les traitements d'images pour les expériences 2/3D multi-techniques que nous avons mis en place. L'ensemble de ces projets n'aurait pu réussir sans la motivation et l'envie de beaucoup de collègues de SOLEIL avec qui j'échange régulièrement.

### Justement, qu'est-ce qui vous a motivé à devenir scientifique sur une ligne de lumière ?

Depuis le début j'ai gardé cette motivation profonde de revenir vers l'imagerie X. Afin de rester en lien avec cette thématique, j'ai enseigné à l'université Paris XI (Master 2 APIM Accélérateurs de Particules et Interaction avec la Matière) et je continue à le faire aujourd'hui à Paris V (Master 2 PMV Physique Médicale et Vivant).

Quand un poste s'est ouvert sur la ligne NANOSCOPIUM, projet extrêmement ambitieux avec une instrumentation de pointe et des méthodologies d'imagerie encore non explorées (cf. p. 17), j'y ai vu un véritable défi dans lequel j'ai souhaité m'engager.

### Êtes-vous satisfait de ce choix ?

Complètement, et c'est avec beaucoup d'enthousiasme que j'aborde ma nouvelle carrière de scientifique de ligne sur NANOSCOPIUM. Je suis à présent en

charge d'une station expérimentale dédiée à l'imagerie X multimodale par balayage rapide et à haute résolution spatiale. Ma thématique de recherche est en partie méthodologique et se concentre sur l'algorithmie pour la reconstruction et le couplage des différentes modalités telles que l'imagerie de phase, d'absorption, de champ diffusé (dark field) et de fluorescence. D'autre part, les caractéristiques de forte cohérence du faisceau propres à NANOSCOPIUM me permettent de m'orienter vers de nouvelles méthodes d'imagerie. La combinaison de ces techniques ouvre une voie vraiment passionnante et novatrice vers l'imagerie 2D/3D quantitative. C'est d'ailleurs dans ce contexte de travail que j'encadre une thèse en collaboration multidisciplinaire avec l'Institut Curie. Mon travail porte sur une mise en application de ces méthodes pour la recherche en biologie. Encore d'autres défis extrêmement motivants !

Les possibilités uniques de ces méthodes ont tout d'abord été mises à profit à travers une collaboration avec l'Institut de Physique du Globe de Paris dans le domaine de la recherche en paléobiologie. Des informations uniques ont été obtenues sur la concentration en métaux et la morphologie d'échantillons de stromatolithes (couches successives de tapis bactérien sédimenté) datant de plus de 2,7 milliards d'années<sup>2</sup>. Ces études démontrent le rôle de l'arsenic dans le métabolisme de ces bactéries et en font un biomarqueur de la vie primitive sur Terre. Les potentialités scientifiques qu'offre une ligne telle que NANOSCOPIUM sont vertigineuses. Cela rend le travail de scientifique de ligne intense, mais je crois que c'est dans ces moments-là que je l'apprécie le plus !

→ **Contact :**  
kadda.medjoubi@synchrotron-soleil.fr

Références :  
<sup>1</sup> Medjoubi, K. et al. Journal of Synchrotron Radiation, 19(3): 323 (2012).  
<sup>2</sup> Sforna, M. C. et al. Nature Geoscience, 7 (11) : 811. (2014).

## POINT FORT

# Le groupe fonctionnement : une

Les opérateurs sont les garants du bon fonctionnement quotidien du synchrotron. Ils pilotent les différents accélérateurs et surveillent nuit et jour les faisceaux qu'ils produisent, afin de garantir leur excellente qualité. Ils développent aussi des outils, équipements et logiciels qui les aident dans leur tâche, tout en assurant la sécurité du site.

**A**u centre du bâtiment synchrotron, dans la salle de contrôle, ils sont huit à se relayer nuit et jour, sept jours sur sept pour veiller au bon fonctionnement des accélérateurs. Ce sont les opérateurs du groupe Fonctionnement, encadré par deux ingénieurs, et rattaché à la division « Sources et Accélérateurs » de SOLEIL. Pendant les sessions dédiées aux études « machine » ils assistent les collègues qui viennent travailler sur les accélérateurs. Pendant les sessions dédiées aux lignes de lumière, ils travaillent en binôme avec un Opérateur à Temps Partiel (OTP), qui peut être issu de n'importe quelle division de SOLEIL, et prennent en charge toute l'opération. Ils assurent alors la mise en place des faisceaux et surveillent l'ensemble des paramètres provenant des nombreux équipements répartis tout autour des accélérateurs :

L'écran d'état du faisceau permet de donner en temps réel les principales caractéristiques du faisceau d'électrons.



LINAC, Booster et Anneau de stockage. Ils se tiennent prêts à réagir à la moindre alerte. La tâche est impressionnante puisque près de 3 000 paramètres sont critiques, c'est-à-dire susceptibles d'entraîner une perte de faisceau. En cas de besoin, les opérateurs peuvent faire appel à différentes personnes d'astreinte qui, le cas échéant, se déplaceront pour dépanner l'équipement en défaut.

Les opérateurs jouent également un rôle important au niveau de la qualité du faisceau fourni (stabilité en position, dimension, intensité...), en particulier pour la disponibilité du faisceau qui est un paramètre essentiel pour qualifier le bon fonctionnement d'une source de rayonnement.

Cette tâche de conduite des accélérateurs de SOLEIL représente la plus grande partie de leur temps de travail.

## Une formation en interne pour acquérir un savoir-faire bien spécifique

Les opérateurs de SOLEIL ont suivi des parcours variés. De niveau Bac+2 en mesures physiques, informatique industrielle, électronique ou électrotechnique, ils reçoivent une solide formation de 6 mois à leur arrivée dans l'univers du synchrotron. La

première partie est théorique, avec notamment des cours dispensés par le groupe Physique des Accélérateurs de SOLEIL concernant les



principes de fonctionnement des machines. La seconde partie est pratique avec par exemple des sessions d'études « machine » dédiées à la mise en situation pour résoudre les problèmes les plus fréquents. L'apprenti opérateur passera alors beaucoup de temps en doublon avec un collègue plus expérimenté avant d'occuper son poste seul.

## Faire face à un incident, l'analyser, le résoudre, l'anticiper

Le faisceau de l'anneau de stockage est stable, aucune alerte à l'horizon. Quand, soudain, c'est la crise. Le faisceau est interrompu. Il faut alors trouver l'origine du problème pour le résoudre. La vitesse de réaction est primordiale, tout comme l'organisation à mettre en

## équipe au cœur des performances du synchrotron



place. Dans les trois quarts des cas, les problèmes rencontrés ont déjà été identifiés et résolus par le passé. Si le problème est mineur, l'opérateur n'aura besoin que de 20 minutes pour remettre en place un faisceau avec les caractéristiques nominales. Tous les incidents sont consignés et analysés a posteriori. Si le problème est nouveau ou complexe, une analyse précise sera faite, en particulier celle des 15 000 paramètres archivés aujourd'hui en permanence dans les bases de données. Le but est de déterminer la cause de l'incident et les actions à mettre en place pour éviter qu'il ne se reproduise.

L'opérateur s'appuie aussi sur des procédures, optimisées avec l'ensemble des groupes techniques, ainsi que sur les différentes applications disponibles pour les

diagnostics. Si une intervention dans le tunnel est nécessaire pour résoudre le problème, c'est l'opérateur qui est responsable de l'entrée en accès contrôlé des collègues intervenants.

En parallèle de la résolution de l'incident, la communication vers l'ensemble de SOLEIL et les lignes de lumière en particulier est essentielle et doit être la plus claire et la plus rapide possible. Elle se fait dans un premier temps via les coordinateurs de hall, le « statut Machine », sorte d'écran d'état du faisceau en temps réel, sur lequel les opérateurs laisseront quelques informations concises, mais aussi au travers des cahiers de bord électroniques remplis par les différents membres du groupe et consultables en ligne.

### Des développements techniques pour améliorer l'efficacité de l'opération

Durant les phases de surveillance du faisceau ou pendant leur temps de présence en horaires normaux, les opérateurs mènent à bien des travaux techniques dont l'objectif premier est l'amélioration de l'exploitation des accélérateurs. La moitié des applications utilisées en salle de contrôle a ainsi été développée par les opérateurs avec différents logiciels (Global screen, Labview, Python...). Répondant aux besoins de l'opération elles ont des rôles extrêmement variés : surveillances et pilotages d'équipements, contrôle automatique de l'injection de l'anneau de stockage en mode Top-Up, bilan statistique...

Le groupe  
Fonctionnement  
au grand  
complet.

En salle de contrôle, les opérateurs surveillent des milliers de paramètres et disposent de dizaines d'écrans de contrôle.



Les opérateurs ont également pris en charge la mise en place de différents dispositifs techniques, tels que : le système de mesure de température par sonde PT100, le système de détection de fuite d'eau, les caméras installées dans les tunnels, la distribution vidéo, le multiplexeur des signaux...

### Toujours présents, avec ou sans faisceau !

Pendant les arrêts techniques des machines, l'activité en salle de contrôle ne faiblit pas. Toutes les interventions des différents groupes sont coordonnées par la salle de contrôle et suivent un planning détaillé établi par le groupe.

Par ailleurs, au quotidien, les opérateurs sont responsables de la sécurité du site (incendie, accident...) en lien avec le groupe Sécurité de SOLEIL. La nuit notamment, l'opérateur présent en salle de contrôle doit être à même de faire face à une situation d'urgence, qu'elle soit de type matériel ou humain.

Les opérateurs sont aussi les interlocuteurs privilégiés des

utilisateurs pour les remarques et demandes concernant le point source de la ligne de lumière (caractéristiques du faisceau, stabilité, contrôle des onduleurs, des têtes de ligne...).

Au final, les missions confiées au groupe Fonctionnement sont

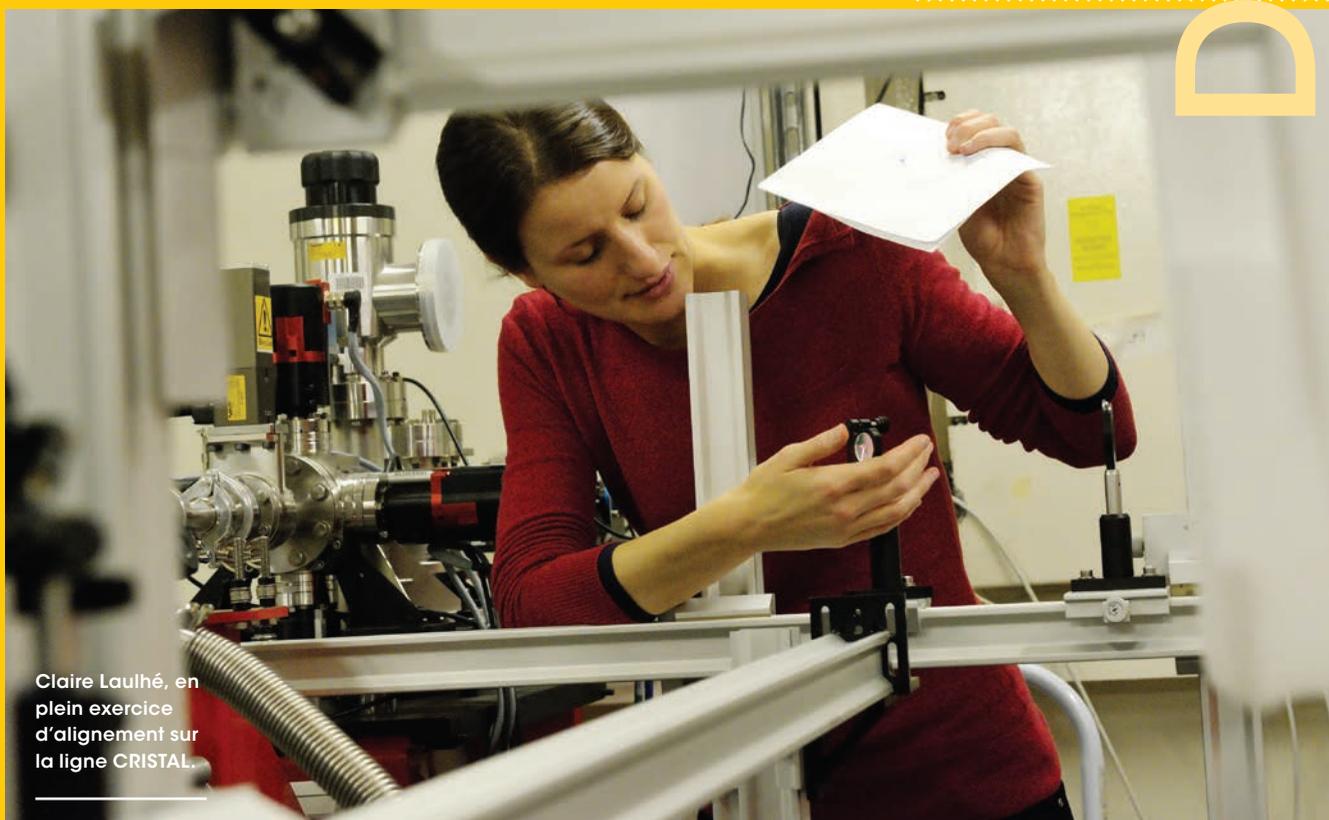
extrêmement variées et nécessitent une vigilance de chaque instant, indispensable pour maintenir les performances de SOLEIL au meilleur niveau.

➔ **Contact :**  
[jean-francois.lamarre@synchrotron-soleil.fr](mailto:jean-francois.lamarre@synchrotron-soleil.fr)



En période d'arrêt machine, les opérateurs supervisent chaque intervention ayant lieu dans les tunnels des différents accélérateurs.

# SOLEIL, la lumière comme instrument



Claire Lauthé, en  
plein exercice  
d'alignement sur  
la ligne CRISTAL.

2015 sera l'Année Internationale de la Lumière, qui est au cœur de la science menée à SOLEIL. Au synchrotron, la lumière est produite, mise en forme, et toutes ses propriétés sont exploitées. Voici quelques exemples choisis qui balayent le champ des recherches à SOLEIL.





29 Septembre 2014, en salle de contrôle, les scientifiques observent pour la première fois le signal d'interaction TéraHertz du projet Slicing.

Le rayonnement synchrotron a maintenant une longue histoire. Elle a débuté par une première utilisation au début des années 60 avec de premières mesures spectroscopiques, qui ont été suivies par un apport considérable à la détermination de la structure de la matière et l'usage étendu de la diffraction de la lumière pour étudier la matière ordonnée. De nos jours, l'intérêt pour les études synchrotron a été largement renouvelé du fait que la cohérence et la structure temporelle sont de plus en plus utilisées, grâce aux progrès effectués sur les machines d'une part et aux avancées dans le contrôle du faisceau de photons et les performances des optiques d'autre part.

### **SOLEIL, source de lumière polyvalente**

« 2015, Année Internationale de la Lumière » nous offre l'occasion idéale de nous attarder sur la manière dont SOLEIL bénéficie déjà de ces avancées grâce à différents exemples choisis d'imagerie directe ou indirecte, de spectroscopie hautement résolue et de mesures résolues en temps. Côté machine, depuis ses débuts en 2006, l'anneau de stockage de SOLEIL a sans cesse évolué pour répondre aux nouveaux besoins et défis des lignes de lumière. Il peut en ce sens être vu comme une source polyvalente. Différentes options de remplissage sont en effet proposées en mode d'injection Top-up afin de satis-

Suite page 18...

## NANOSCOPIUM

# Nanofocalisation sur la ligne NANOSCOPIUM

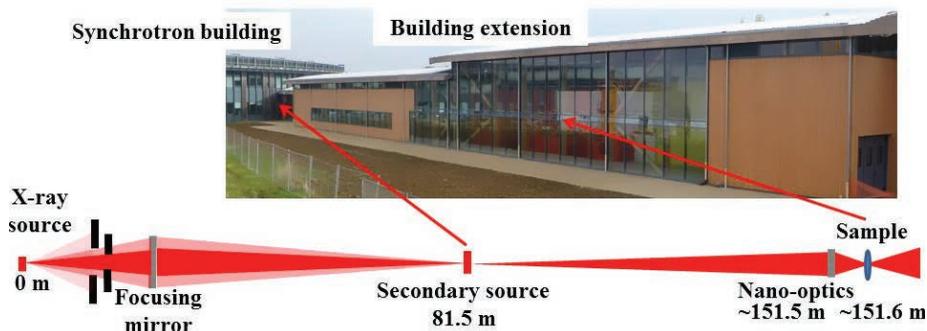


Figure 1. Schéma optique de nano-focalisation sur NANOSCOPIUM. La démagnification est déterminée par le rapport entre la taille de la nano-optique au point SS et la distance optique-échantillon.

De nombreux domaines de recherche à fort impact sociétal, comme la biologie, les sciences de la terre et de l'environnement ou les bio-nanotechnologies essaient d'obtenir des informations à l'échelle nanométrique sur des systèmes hétérogènes, en conditions naturelles ou *in operando*. La nano-imagerie à balayage de rayons X durs présente un intérêt croissant pour ces recherches, fournissant des informations de structure et de composition chimique. Les rayons X ont aussi un grand pouvoir de pénétration ce qui les rend tout à fait adaptés aux études *in situ*.

Dans la microscopie X à balayage, l'échantillon est balayé par l'intense nano-faisceau généré à l'aide d'une optique de très grande qualité. Outre la focalisation géométrique de la source X, une limitation physique de la taille de faisceau est liée à la diffraction des rayons X. Cette taille « limitée par la diffraction » est proportionnelle à la longueur d'onde et caractérise la résolution spatiale finale de l'optique. La résolution que l'on peut atteindre avec des microscopes à rayons X est meilleure que celles des microscopes à lumière visible.

La fabrication d'optiques de haute précision est une étape cruciale pour atteindre la nano-focalisation et soulève des défis méthodologiques et de fabrication, qui ont été relevés avec succès par les dernières technologies de nano-fabrication. Les systèmes récents de focalisation des rayons X, comme les « lentilles de Fresnel » (FZPs en anglais) constituées de centaines d'anneaux

concentriques d'épaisseur décroissante, les systèmes à double miroirs elliptiques taillés ultra-précisément, ou encore les nouvelles classes d'optiques X comme les lentilles multicouches de type Laue (MLL), permettent d'atteindre une focalisation proche de la limite de diffraction.

La microscopie à rayons X atteignant une résolution de quelques dizaines de nanomètres, voire même en deçà selon des travaux récents, offre des possibilités de recherches inédites. La ligne NANOSCOPIUM<sup>1</sup>, longue de 155 m, est dédiée à la nano-imagerie 2D / 3D par balayage avec pour objectif d'atteindre une résolution spatiale de 30 nm. La grande distance de 60-70 m entre les optiques nano-focalisantes à pointe et la source secondaire (SS) assure une grande démagnification (autour de 0,0015, cf. Fig. 1), nécessaire à l'obtention de faisceau nanométrique (i.e. une taille de 10  $\mu\text{m}$  de SS correspond à 10 nm au niveau de l'échantillon). La qualité optique exceptionnelle des systèmes à double miroirs elliptiques (Fig. 2a) (JTEC, Japon) est déterminante pour atteindre une focalisation descendant à 50-100 nm. La surface du miroir est taillée avec une précision inférieure à 0,5 nm, soit presque à l'échelle atomique! Des tailles de faisceaux jusqu'à 30 nm seront obtenues grâce à des FZPs (Fig. 2b) développés par le groupe de C. David<sup>2</sup> (PSI, Villigen, Suisse).

Avec ces nano-optiques, NANOSCOPIUM offrira les méthodes d'imagerie, avec des nano-faisceaux stables et très intenses, qui pourront couvrir la gamme de taille

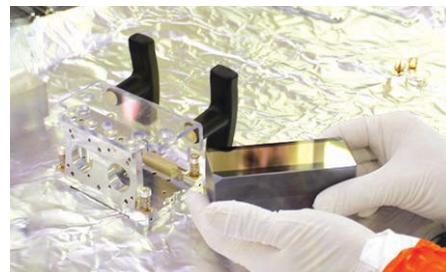
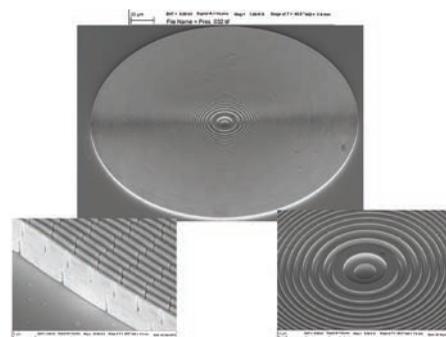


Figure 2a (haut). Miroir nanofocalisant d'ultra haute qualité (Kirkpatrick-Baez, KB).

Figure 2b (bas). Réseau zoné de Fresnel nanofocalisant.



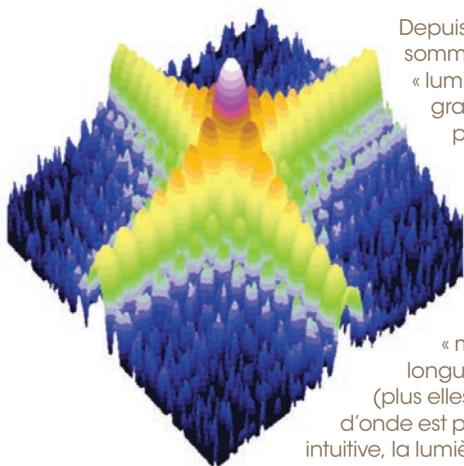
30-500 nm en fonction des besoins expérimentaux. Par ailleurs, un balayage rapide continu<sup>3</sup> rend possible l'imagerie multimodale et la tomographie. La combinaison des techniques complémentaires (fluorescence X, absorption, contraste de phase et diffusé) fournira des informations quantitatives complètes sur la structure d'un échantillon, sa composition et sa nature chimique, pour le meilleur de la science.

→ **Contact:**  
andrea.somogyi@synchrotron-soleil.fr

### Références :

- <sup>1</sup> A. Somogyi et al. Instruments and Methods, 885104 (2013).
- <sup>2</sup> I. Mohacsi et al. Journal of Synchrotron Radiation, 21, 497-5 (2014).
- <sup>3</sup> K. Medjoubi et al. Journal of Synchrotron Radiation, 20(2), 293 (2013).

## CRISTAL

**Cohérence extrême**

Représentation en perspective de la figure de diffraction de rayons X cohérents par des fentes de  $5 \times 5 \mu\text{m}^2$ , obtenue sur la ligne de lumière CRISTAL. Les intensités sont en échelle logarithmique. L'existence de franges démontre la cohérence du faisceau.

Depuis l'avènement du laser, nous sommes habitués à parler de « lumière cohérente », une lumière de grande qualité caractérisée par sa pureté spectrale et la régularité de son front d'onde (plan ou sphérique). Les physiciens caractérisent ces propriétés à l'aide de deux longueurs : la longueur de cohérence longitudinale (plus elle est grande, plus l'onde est « monochromatique »), et les deux longueurs de cohérence transverses (plus elles sont grandes, plus le front d'onde est parfait). De façon plutôt contre-intuitive, la lumière synchrotron n'est pas aussi cohérente que l'on pourrait le croire, en particulier dans la gamme des rayons X. Voyons pourquoi.

Les sources synchrotron de 3<sup>e</sup> génération utilisent (ou fonctionnent grâce à) des onduleurs, dans lesquels des paquets de plusieurs milliards d'électrons (paquets mesurant quelques centimètres, i.e. quelques dizaines de picosecondes à la vitesse de la lumière) ondulent des centaines de fois. Chaque électron de ces paquets génère une onde plane d'une centaine d'oscillations (ce qui représente environ 100 nm pour les rayons X). Comme tous les électrons émettent de la lumière de **manière indépendante**, la lumière synchrotron est en fait une impulsion de quelques dizaines de picosecondes, avec une cohérence longitudinale de l'ordre de 100 nm ; les longueurs de cohérence transverses, elles, dépendent des dimensions transverses du paquet : plus il est petit, plus les longueurs sont grandes. En pratique, elles mesurent quelques dizaines de microns. Comme la taille du faisceau est plus élevée (de l'ordre de 100  $\mu\text{m}$ ), le faisceau est partiellement cohérent. Comment alors utiliser les propriétés de cohérence d'un tel faisceau ?

La première astuce réside dans l'utilisation d'un monochromateur, qui améliore la qualité spectrale du faisceau et donc augmente la longueur de cohérence longitudinale, jusqu'au micron. La seconde est de placer une ouverture d'environ  $10 \times 10 \mu\text{m}^2$  près de l'échantillon afin de ne garder que la partie cohérente du faisceau. De cette manière on obtient un faisceau cohérent, comme en témoigne la figure de diffraction à gauche, mesurée après l'ouverture, ici une paire de fentes. Malheureusement, tout ceci se fait au dépend de l'intensité : un facteur 10000 est perdu dans l'opération. Toutefois, cela permet de réaliser des expériences de diffraction dite cohérente. Sur la ligne CRISTAL, la diffraction cohérente permet d'étudier des nanocristaux et des composés multi-phasés.

Comment atteindre une plus grande cohérence ? La première idée consiste à diminuer la dimension transverse du paquet en diminuant l'émission du faisceau d'électrons jusqu'à son minimum : la **limite de diffraction**. Ce sera prochainement le cas dans certains centres de rayonnement synchrotron, qui deviendront alors des « Diffraction Limited Synchrotron Rings » (DLSR). La seconde possibilité est d'agrandir les onduleurs jusqu'à atteindre une émission stimulée auto-amplifiée (SASE en anglais), pour laquelle tous les électrons du paquet émettent ensemble de la lumière, qui est alors cohérente. C'est le principe des lasers à électrons libres, qui ont émergé depuis une dizaine d'années mais ne fonctionnent pas encore dans ces conditions idéales. Il n'empêche, la cohérence extrême frappe à la porte !

→ **Contact :**  
sylvain.ravy@synchrotron-soleil.fr

Référence :  
**V. Jacques et al.**  
Phys. Rev. B86, 144117 (2012).

... Suite de la page 16

faire les attentes des utilisateurs en termes de brillance intense, de structure temporelle et de durée des expériences. Le nombre de lignes de lumière a été augmenté par l'utilisation d'onduleurs cantés installés sur les sections droites de l'anneau. La haute fiabilité et grande stabilité du faisceau de photons produit par le synchrotron SOLEIL permettent de proposer des modes d'opération variés, adaptés aux différents besoins des utilisateurs. L'une des spécificités de SOLEIL est sa capacité à disposer d'un courant multi paquets atteignant 500 mA, et de stocker plus de 20 mA dans un seul paquet pour les expériences résolues en temps. En plus du mode où tous les paquets

possibles (au nombre de 416) sont remplis, les modes d'opération de l'anneau de stockage de SOLEIL permettent de mettre un accent fort sur l'exploitation de la structure temporelle. Le mode hybride consiste en une série de 312 paquets d'électrons avec un courant total de 425 mA sur  $\frac{3}{4}$  de la circonférence de l'anneau, complétée par un paquet supplémentaire de 5 mA au milieu du dernier quartier. Chaque année, deux semaines sont également consacrées au mode dit « 8 paquets » avec un courant total de 90 mA, un espacement inter-paquets de 148 ns et une longueur de paquet de 25 ps en valeur efficace. Par ailleurs, une autre quinzaine est consacrée à un mode

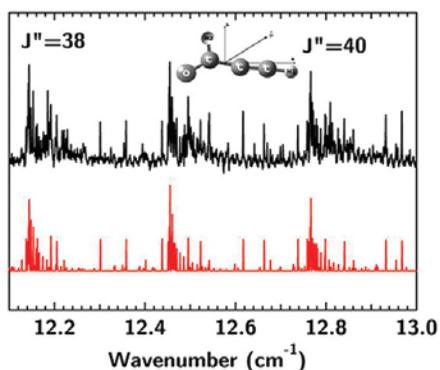
## AILES

# De la Spectroscopie THz à haute résolution avec l'émission synchrotron cohérente à SOLEIL

Un nouveau mode de fonctionnement est maintenant au point et offert aux utilisateurs de SOLEIL : le mode d'émission dit « low alpha » dans lequel les électrons émettant le rayonnement synchrotron sont comprimés en paquets très courts. Ce mode permet des avancées sur certaines lignes en matière de résolution temporelle pour étudier des phénomènes rapides, mais a aussi été exploité par les chercheurs de la ligne AILES pour mesurer des signatures spectrales de molécules dans le domaine charnière entre les rayonnements micro-ondes et infrarouge. En effet, un accroissement considérable du flux lumineux se produit lorsque les longueurs d'onde de la lumière émise sont du même ordre que la longueur des paquets d'électrons circulant dans le synchrotron. Schématiquement, dans les paquets « longs » des modes de fonctionnement normal, chaque électron agit comme une source de lumière isolée, et l'intensité émise par les ondes lumineuses évolue proportionnellement au nombre d'électrons par paquet. Avec des paquets courts, du même ordre de grandeur que les longueurs d'onde émises, les électrons sont suffisamment proches pour émettre leurs ondes électriques en phase. L'émission, dite alors « cohérente », a une intensité proportionnelle au carré du nombre d'électrons par paquet, résultant en une émission 10000 fois plus intense. Ce phénomène peut être produit dans le domaine de longueurs d'onde d'environ 0,3 à 1 mm (entre 250 et 750 GHz). Ce

domaine est important car il recouvre celui des mouvements de rotation pure des molécules dans les milieux raréfiés, sondés par exemple par les instruments modernes de radioastronomie (le satellite Herschel, ALMA) récemment développés et demandeurs de données de référence prises en laboratoire.

À SOLEIL, les physiciens du groupe machine ont su « jongler » avec leurs instruments pour maîtriser l'instabilité naturelle de ce type de fonctionnement. Grâce à des dispositifs de détection améliorés pour compenser les instabilités résiduelles du faisceau lumineux, le



Détail du spectre expérimental (noir) de rotation pure de la molécule de Propynal (schéma en insert) comparé avec la simulation tirée de ces résultats (rouge), véritable « empreinte digitale » de la molécule pour son identification en radioastronomie.

spectre de rotation pure d'une molécule organique, déjà détectée dans certains nuages interstellaires a pu être enregistré en quelques heures de mesure sur tout le domaine d'intérêt. L'analyse de ces données permet d'améliorer la quantification de telles molécules dans ces milieux difficiles d'accès... En effet, ce domaine spectral permet d'identifier de nombreuses molécules organiques, jusqu'à récemment, encore insoupçonnées dans l'espace interstellaire. Chaque molécule a une signature spectrale constituée de milliers de raies d'absorption et, même si une molécule a déjà été identifiée auparavant, il reste important de repérer son spectre pour dégager de nouvelles identifications au milieu de cette forêt.

## → Contacts :

pascale.roy@synchrotron-soleil.fr  
laurent.manceron@synchrotron-soleil.fr

## Références :

- <sup>1</sup> J. Barros et al.  
Rev. Sci. Inst. 84, 033102, (2013).
- <sup>2</sup> J. Barros et al.  
J. Mol. Spectrosc. submitted (2014).

« paquet unique » avec un courant de 16 mA et une durée entre deux passages des électrons de 1,18  $\mu$ s.

## Des techniques d'imagerie prometteuses

Sur la ligne NANOSCOPIUM, il est possible de réaliser une imagerie 2D/3D à l'aide d'optiques de pointe. Un impact considérable est attendu en biologie, sciences de la terre et de l'environnement, pour lesquels des systèmes inhomogènes, candidats de choix pour ce type de technique, sont monnaie courante. Depuis janvier 2012, l'anneau de stockage fonctionne avec de nouvelles optiques, dont un triplet de quadrupôles qui crée une double foca-

lisation du faisceau d'électrons dans l'une des longues sections droites, et une chicane de 4 aimants pour adapter deux onduleurs cantés sous vide avec une séparation angulaire de 6,5 mrad qui produisent deux faisceaux de lumière dissociés. Les deux onduleurs avec un gap de 5,5 mm produisent des rayons X indépendants dans les deux lignes longues (180 m) NANOSCOPIUM et ANATOMIX qui sont utilisées pour l'imagerie par contraste de phase et d'absorption et la diffraction cohérente. Par ailleurs, l'usage intense de la diffraction cohérente sur la ligne CRISTAL donne accès à l'étude de nanocristaux et

# Des impulsions X ultra courtes générées à partir de lumière visible femtoseconde

Le 29 septembre 2014, le premier slicing femtoseconde d'un paquet d'électrons a été observé dans l'anneau de stockage de SOLEIL. Cet événement ouvre la voie à des études de phénomènes structurels et électroniques ultrarapides à SOLEIL. Le principe du femto-slicing repose sur l'interaction entre une impulsion laser femtoseconde et un paquet d'électrons circulant dans l'anneau de stockage\*.

\*Voir Rayon de SOLEIL 20, p11-12.



Figure 1. En salle de contrôle, Marie Labat et Marie-Agnès Tordeux observent le signal de l'interaction entre le laser et le faisceau d'électrons.

- Faisceau laser et cabane laser (LS) ■
- Faisceau de rayons X « slicés » ■
- Faisceau d'électrons dans l'anneau de stockage ■
- Signal Térhertz ■

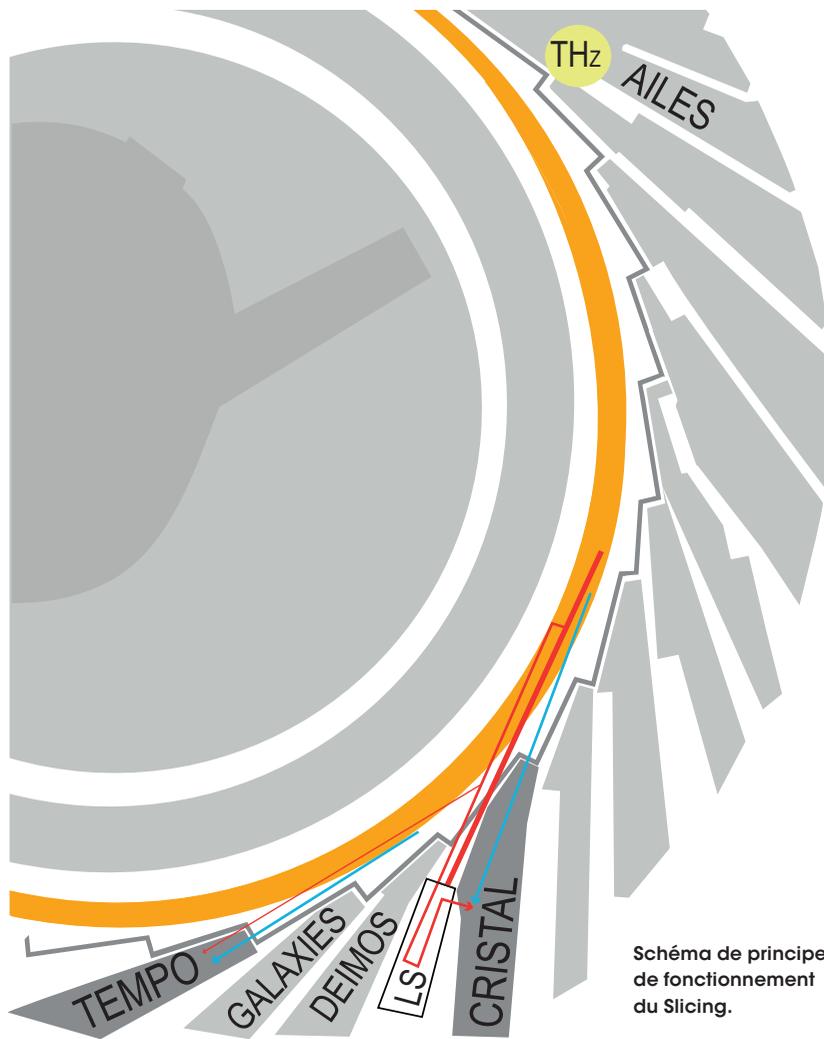


Schéma de principe de fonctionnement du Slicing.

... Suite de la page 19

de composés multiphasés (cf. p. 18). Grâce à la technique de ptychographie il est possible d'augmenter la taille de l'échantillon étudié. L'étude des processus de diffraction de Bragg en régime cohérent devrait également avoir un impact considérable sur la science des matériaux, car ces processus permettent de caractériser des contraintes locales (contraintes, défauts...). Sur la ligne de lumière AILES, cette propriété de cohérence est utilisée différemment. Elle permet d'accéder à une résolution extrême dans le régime Térhertz grâce à une émission renforcée CSR (émission synchrotron cohérente), obtenue lorsque la dimension du faisceau d'électrons est du même ordre de

grandeur que la longueur d'onde des photons émis. C'est ainsi qu'ont été développées des études spectroscopiques visant à déterminer la signature spectrale de molécules d'intérêt pour l'astrophysique. Ces expériences sur la ligne AILES s'appuient sur un mode dit "low alpha", qui produit des impulsions de lumière de quelques picosecondes de long, disponible lui aussi deux semaines par an (cf. p. 19).

## Suivre des phénomènes toujours plus courts

Le prochain mode développé sera celui du femto-slicing mis à disposition sur quelques lignes. Des impulsions de rayons X d'une centaine de femtosecondes seront en effet

Le dispositif du slicing à SOLEIL fournira des impulsions de rayons X femtosecondes et, contrairement aux autres machines à travers le monde, à plusieurs lignes de lumière. La gamme d'énergie des photons X sera ainsi entièrement couverte pour une seule installation de femto-slicing, et la résolution temporelle femtoseconde viendra s'ajouter à une grande variété de puissantes techniques de rayons X. Lors de la phase de déploiement du dispositif, des expériences seront menées sur les lignes CRISTAL et TEMPO (voir figure 1). Puis de futurs développements devraient permettre également aux lignes DEIMOS et GALAXIES de bénéficier de cette technologie.

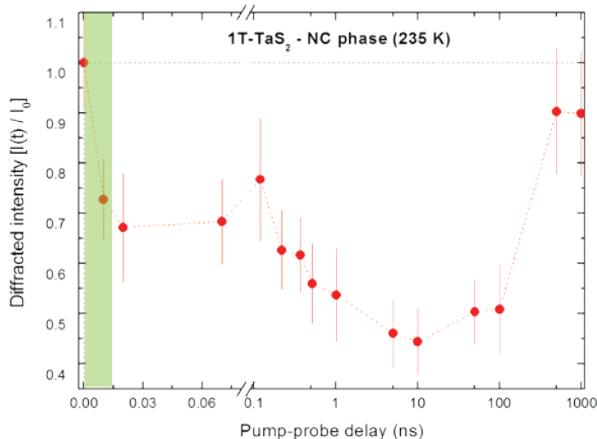
Les contraintes de stabilité spatiale et temporelle sont extrêmes : à titre de comparaison cela revient à devoir pointer un laser depuis Paris jusqu'à la Statue de la Liberté à côté de New-York, et ce pendant des jours, durée moyenne d'une expérience de femto-slicing. Afin de satisfaire ces exigences, il a fallu la contribution de toutes les divisions de SOLEIL. Pour n'en citer que quelques-unes, le laser a dû être synchronisé avec l'horloge RF maître de SOLEIL ; une chambre à vide compatible a été installée pour le transport du laser Infrarouge afin d'éviter les variations de température ou les effets de turbulence susceptibles de perturber la position du laser ou sa durée de transport ; des systèmes de diagnostic ont été développés pour caractériser la position du faisceau IR, son profil, son énergie, sa divergence ou encore sa durée d'impulsion tout au long de son transport.

Tous ces efforts ont permis d'observer pour la première fois le signal Téraherz (THz, cf. figure 1), étape indispensable indiquant que le faisceau d'électron et le laser interagissent bien spatialement et temporellement. Depuis, l'ensemble des paramètres a été optimisé afin d'améliorer cette interaction et de la conserver sur une plus grande durée.

La prochaine étape sera donc la détection des impulsions X femtosecondes sur la ligne CRISTAL. En attendant les expériences de femto-slicing, les scientifiques de CRISTAL et de TEMPO ont déjà réalisé des expériences pompe (IR) / sonde (rayons X) résolues

en temps, exploitant la résolution temporelle disponible actuellement, soit de 10 à quelques dizaines de picosecondes. La stimulation de tels systèmes hors équilibre par irradiation avec des impulsions laser ultracourtes engendre des transitions électroniques à une échelle à laquelle la maille est considérée comme gelée. De tels états excités sont par nature dynamiques, et impliquent des évolutions sur une large échelle de temps et de distance. À l'échelle atomique, les phénomènes dynamiques les plus rapides se présentent sous la forme de vibrations atomiques ayant une période de l'ordre de 100 fs. Par exemple, la figure 2 montre l'évolution de l'intensité d'un pic de Bragg de 1T-TaS<sub>2</sub> pendant une phase de transition induite par un laser. La résolution femtoseconde est clairement indispensable pour avoir plus d'informations sur la baisse d'intensité initiale (région en vert). Cette phase de transition de 1T-TaS<sub>2</sub> illustre bien l'apport d'une résolution temporelle femtoseconde.

→ **Contacts :**  
[philippe.hollander@synchrotron-soleil.fr](mailto:philippe.hollander@synchrotron-soleil.fr)  
[jan.luning@upmc.fr](mailto:jan.luning@upmc.fr)



**Figure 2. Intensité d'une réflexion de Bragg en fonction du temps après excitation laser. La baisse d'intensité est une signature directe de la transformation structurale à l'intérieur du matériau. La première chute d'intensité se produit après 10ps, (zone verte), ce qui correspond à la durée des impulsions X donnant la résolution temporelle de cette mesure.**

délivrées d'abord sur les lignes CRISTAL et TEMPO ; la possibilité de l'étendre dans un second temps aux lignes DEIMOS et GALAXIES est à l'étude. Ces impulsions ultra courtes permettront d'étudier des phénomènes dynamiques extrêmement rapides (électroniques ou structuraux) qui se produisent dans un matériau excité. Bien que le flux de photons ainsi obtenu ne permette pas de réaliser des expériences à un seul paquet (comme c'est le cas pour les Lasers à Electrons libres, ou FEL), la stabilité des faisceaux est idéale pour étudier des phénomènes réversibles (répétitifs) comme les transitions de phases induites dans les solides, ou la dynamique de magnétisation dans des

composés magnétiques visant à optimiser le stockage de l'information. Comme dans d'autres centres de recherche synchrotron dans le monde, des discussions sont en cours pour faire évoluer SOLEIL vers un anneau de stockage limité par la diffraction (DLSR). Ses caractéristiques : une émittance des rayons X proche de la limite de diffraction, un flux de photons avec une longueur de cohérence transverse accrue et une brillance spectrale 10 à 100 fois supérieure à celle des sources de lumière synchrotron 3<sup>e</sup> génération actuelles. La technologie synchrotron devrait donc être exploitée encore de longues années au service d'une recherche toujours plus exigeante.

# Un démonstrateur

## « Smart Building » à SOLEIL



**Le Démonstrateur du réseau Smart Building Paris IDF a été inauguré le 2 octobre 2014 à SOLEIL en présence de 80 partenaires économiques, scientifiques et institutionnels.**

Initié par la CCI de l'Essonne en partenariat avec le pôle de compétitivité Advancity, le réseau Smart Building Paris IDF regroupe des **PME franciliennes** développant un savoir-faire dans le **domaine du smart building** : télémesure, gestion et pilotage des flux, automatisme, performance de bâtiments...

Son objectif est de favoriser l'intégration de technologies complémentaires actuellement dissociées, afin de constituer une offre globale à destination des propriétaires de bâtiments tertiaires ou industriels existants.

La promotion des offres des PME sous un label commun aux niveaux francilien, national et international, est assurée par l'installation des technologies au sein d'un démonstrateur à SOLEIL, site choisi comme représentatif du territoire francilien.

### **SOLEIL : un lieu idéal de démonstration des technologies du réseau**

Comme l'explique Clément Guillon, Directeur Général Délégué de la PME Verteego, éditeur de logiciels cloud spécialisé sur le Big Data appliqué au développement durable : « SOLEIL dispose de caractéristiques uniques : ce très grand équipement dont la population est ouverte à la recherche et au développement technologique comprend des installations complexes (le synchrotron et ses 29 lignes de lumière), des bâtiments tertiaires (bureaux), une maison d'hébergement (80 chambres) et un

restaurant d'entreprise. Disposer d'un lieu aussi spectaculaire proche de Paris est idéal pour démontrer la qualité, la complémentarité et l'interopérabilité des solutions des membres du réseau. »

Par ailleurs, le bâtiment synchrotron présente des exigences particulières pour ses utilisateurs (stabilité mécanique et thermique, performance de la machine, fiabilité des mesures...). SOLEIL dispose d'équipes pointues de gestion des infrastructures qui s'appuient sur une gestion technique centralisée, ou GTC, équipées avec lesquelles ont pu travailler quatre PME du réseau (Energisme, Energiency, Vertical M2M et Verteego) pour la collecte et le traitement des flux de données en temps-réel.

### **Des perspectives d'optimisation pour SOLEIL**

Ce projet entre dans le cadre de la mission de SOLEIL de soutien à la compétitivité et à l'innovation des PME notamment franciliennes. Et comme le confirme Michel Bessière, Directeur des Services Techniques et de la Valorisation de SOLEIL, « Le savoir-faire des PME apporte un traitement intelligent des données disponibles grâce à notre GTC. Les solutions développées permettront de faire de la sensibilisation via des indicateurs ou d'initier des réflexions sur les enjeux énergétiques de nos propres bâtiments. »

→ **Contact :**  
[celine.lory@synchrotron-soleil.fr](mailto:celine.lory@synchrotron-soleil.fr)

## **EN BREF**

### **SOLEIL ET LE CIR**

SOLEIL étant une filiale à 100 % du CNRS et du CEA, opérateurs de recherche dispensés par le Ministère de la Recherche de demandes d'agrément au titre du Crédit Impôt Recherche, il est lui aussi dispensé de cette demande d'agrément. Cette information, confirmée au printemps 2014 par le Ministère de la Recherche, permet aux entreprises qui sollicitent SOLEIL pour des travaux de R&D de déclarer les dépenses correspondantes au CIR au titre de leur recherche externalisée.

### **+ 5**

C'est le nombre de nouvelles inventions qui ont émergé à SOLEIL depuis octobre 2013, à partir des travaux de R&D réalisés par les équipes de SOLEIL, seules ou avec leurs partenaires de la recherche publique ou privée.

Quatre demandes de brevet français, dont une en commun avec une PME française, ont déjà été déposées à l'INPI, et une autre en pleine propriété le sera dans les prochaines semaines.

SOLEIL devrait ainsi disposer fin 2014 d'un portefeuille de plus de 15 brevets et demandes de brevets.



## Année Internationale de la Lumière, 2015 sous les feux de la rampe

La lumière est omniprésente dans notre quotidien et le sera davantage encore en 2015. Tout au long de l'année seront organisés des événements, conférences, colloques, expositions et spectacles autour de la lumière, destinés à tous les publics. Venez découvrir l'apport de la lumière aux sciences, ses applications industrielles, et ses perspectives! Toutes les actions seront référencées sur le site [lumiere2015.fr](http://lumiere2015.fr).

### Une présentation soignée en vidéo

Trois nouvelles vidéos pédagogiques de présentation de SOLEIL ont été réalisées avec le concours d'une illustratrice et d'une équipe de tournage. Découvrez ce support ludique et instructif!



SOLEILsynchrotron

Dailymotion  
SynchrotronSOLEIL

### Un « Science Break » à SOLEIL

En 2014, SOLEIL s'est associé à la Diagonale Paris-Saclay pour proposer la 2<sup>e</sup> édition de ce format ludique de mini conférences. Au programme, 3 interventions de chercheurs autour de la cristallographie. Après la centaine de personnes venues assister à cet évènement, retrouvez en vidéo Claire Laulhé et sa passion des petits cubes, Pierre Legrand et les bactéries magnéto-tactiques, ainsi que Jean-Paul Itié et son expérience de croissance de cristaux de glace sous pression.

<http://sciencebreak.ladiagonale-paris-saclay.fr/>

“ Une de mes missions, primordiale: aider nos équipes dans la mise en place de projets en partenariats académiques afin que SOLEIL reste au meilleur niveau de la recherche. ”



Corinne Chabanne, chargée des Partenariats Scientifiques.

# Des actions variées pour continuer la mission de médiation de SOLEIL

**D**epuis ses prémices en 2002, SOLEIL a accordé une grande importance à sa mission de diffusion de la culture scientifique et technique. À l'instar d'autres sources de lumière dans le monde, SOLEIL s'inscrit dans des actions quotidiennes qui touchent un public extrêmement large et varié. Par la diversité des recherches qui y sont menées, mais aussi par l'instrument en lui-même, SOLEIL est un lieu idéal de découverte de la science en train de se faire, et ce quel que soit le niveau de connaissance du visiteur. Les grands instruments sont sous le feu des projecteurs notamment depuis les résultats scientifiques extraordinaires offerts par le Grand Collisionneur d'Hadrons (LHC). Le terreau régional est par ailleurs extrêmement fertile puisque le plateau de Saclay regroupe un grand nombre d'instituts de recherche, ainsi que le projet d'université Paris-Saclay à rayonnement mondial. À l'occasion de l'Année Internationale de la Lumière, le synchrotron profitera du « feu des projecteurs » pour renforcer ses missions et sa présence aux côtés des autres acteurs locaux et nationaux de la diffusion des connaissances, et servir le débat science-société nécessaire pour comprendre une science qui se spécialise de plus en plus, au point d'en devenir souvent difficilement accessible aux non-initiés.

## SOLEIL, acteur des événements de médiation scientifique

Tout au long de l'année, SOLEIL répond présent à des rendez-vous incontournables avec le public, souvent reconduits chaque année.

Fête de la Science, opération « SOLEIL de Minuit » à l'occasion de la Nuit des chercheurs, « Bouge la Science » organisé par Supélec, journées thématiques (comme les journées CristalO organisées en 2014 au Musée des Arts et Métiers)... Ces événements qui touchent plusieurs centaines de participants sont l'occasion de parler de science autour d'ateliers thématiques et ludiques, qui viennent appuyer un discours informatif riche dispensé par chercheurs et médiateurs. À l'occasion de l'Année de la Lumière, les ateliers pédagogiques de SOLEIL seront encore enrichis de nouvelles expériences afin de mieux appréhender cette thématique.

Ces journées sont aussi des lieux de rassemblement de la communauté de la recherche nationale, et permettent d'avoir un panorama de ses multiples acteurs.

François Bertran (ligne CASSIOPÉE) explique le fonctionnement de SOLEIL devant une maquette prise d'assaut pendant la fête de la Science 2014.



En 2015, SOLEIL ira également à la rencontre des élèves du Primaire, directement dans les écoles. Les enfants se placeront alors dans la peau de chercheurs et découvriront diverses propriétés liées à la lumière, grâce à un projet pédagogique spécialement conçu à l'occasion de cette Année Internationale par des enseignants du primaire épaulés sur le plan théorique et expérimental par une professeure de physique-chimie partiellement détachée à SOLEIL par l'Académie de Versailles. Testé en 2015 auprès de son premier public, l'atelier pourra ensuite être présenté plus largement aux jeunes élèves, puisque les professeurs des écoles intéressés par cette démarche scientifique seront formés par leurs collègues qui auront participé à l'élaboration du projet, ainsi que par l'équipe Communication de SOLEIL.

### Visiter SOLEIL

Chaque année, SOLEIL accueille plusieurs milliers de visiteurs français mais aussi étrangers, qui viennent découvrir l'univers synchrotron. Au programme, une visite adaptée aux différents niveaux et à une large variété de publics : scolaires (collégiens, lycéens), étudiants, institutionnels, associations et particuliers, ou encore professionnels. Dans chaque cas, la visite offre tout d'abord, via une présentation interactive, une introduction aux points principaux du fonctionnement et aux applications liées à SOLEIL, puis une visite des installations permet d'aller au plus près des acteurs et des équipements de ce grand instrument. En fonction des spécialités (notamment pour les professionnels et étudiants de cycle supérieur), scientifiques des lignes de lumière, physiciens des accélérateurs, ingénieurs ou techniciens des groupes support se prêtent au jeu et font découvrir leur univers de travail. Le groupe Communication, épaulé depuis peu par des doctorants de SOLEIL spécialement formés pour l'occasion, se relaie pour faire découvrir ce lieu hors du commun où la recherche se construit, échantillon après échantillon.

### Moderniser et adapter les vecteurs d'information

Quel que soit le public visé, les supports d'information évoluent avec la société. L'ère est aux réseaux sociaux et aux supports vidéo. SOLEIL a donc décidé de renforcer son action sur ces différents outils. Sur les réseaux sociaux, vous pouvez retrouver les actualités scientifiques du synchrotron, les grands projets collaboratifs auxquels il est associé ou encore ses différentes publications (newsletter trimestrielle).

Côté vidéo, une collaboration très enrichissante avec une équipe de tournage et une illustratrice a permis la réalisation d'un « time lapse drawing », vidéo de présentation de SOLEIL dessinée quasiment en temps réel et commentée pour être parfaitement adaptée à un large public. En parallèle, afin d'appréhender toujours mieux la recherche menée sur les lignes



Le 4 juin, Sylvain Ravy (ligne CRISTAL), donnait une conférence à SOLEIL sur l'histoire de la cristallographie et la contribution de Joseph Fourier.



Christophe Sandt (ligne SMIS) initie un enseignant à la microscopie infrarouge lors d'un stage organisé avec le Rectorat de Versailles.

de lumière, la liste des courts reportages didactifs présentant une expérience réalisée à SOLEIL continuera à s'allonger.

S'ajouteront également divers séminaires et conférences données à SOLEIL par des scientifiques à destination de leurs pairs ou d'un public plus large. Le public scolaire est une cible prioritaire pour SOLEIL, et par extension les enseignants qui y sont associés. Des malles pédagogiques ont été réalisées afin de fournir aux enseignants les outils nécessaires pour comprendre le magnétisme, le vide, l'optique ou encore les différentes méthodes d'analyse employées au synchrotron. En 2014, une mallette synthétique regroupant tous ces thèmes a été réalisée ; elle est disponible en français, anglais espagnol et allemand.

Des stages sont également proposés aux enseignants qui souhaitent approfondir leurs connaissances sur le synchrotron et les recherches qui y sont menées, ou encore sur les techniques de spectroscopie.

La culture scientifique a toujours été, et demeure une mission prioritaire de SOLEIL. 2015 va créer de nouvelles opportunités de la diffuser toujours plus largement.

➔ **Contact :**  
isabelle.quinkal@synchrotron-soleil.fr



## 6<sup>e</sup> édition de la conférence internationale SR2A



**DEPUIS SA PREMIÈRE ÉDITION À GRENOBLE EN 2005,** la conférence *Rayonnement synchrotron et neutrons pour l'art et l'archéologie* n'a cessé de gagner en visibilité. Dernière édition en date, celle organisée au Musée du Louvre à Paris du 9 au 12 septembre 2014, et coordonnée en Île-de-France par l'équipe d'IPANEMA et son directeur Loïc Bertrand. Environ 300 participants du monde entier, scientifiques, professionnels des musées et muséums, ou étudiants ont pu assister à 3 journées de présentation sur les dernières techniques scientifiques utilisées pour analyser des tableaux de maître, des matériaux archéologiques ou paléontologiques. Les méthodes synchrotron et neutron sont en effet en plein essor pour l'étude de matériaux anciens variés : métaux, céramiques, verres, textiles, matériaux lithiques, vestiges organiques, matières colorantes... Sept laboratoires du CNRS, du ministère de la Culture et du Muséum national d'histoire naturelle (IPANEMA, C2RMF, LAMS, département de préhistoire du MNHN, LAPA, LRMH, CRCC) se sont associés à la Fondation des Sciences du Patrimoine et au Musée du Louvre pour organiser l'évènement, également soutenu par SOLEIL, la Région Île-de-France et la Royal Society of Chemistry. Plusieurs thématiques ont été abordées :

Conservation et altération, Processus et chaînes opératoires, Nouvelles méthodes et processus analytiques, Paléontologie et paléo-environnements.

Véritable moment de rencontre entre scientifiques, conservateurs mais également avec le grand public par l'intermédiaire de conférences de vulgarisation, l'évènement a eu un retentissement médiatique mondial (23 pays représentés). Point d'orgue de la conférence, des visites d'étude ont été animées par des conservateurs et des scientifiques dans les collections mêmes du Musée du Louvre. En attendant la prochaine conférence en 2016, les contributions à la conférence seront disponibles dans un numéro spécial de la revue internationale *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. Cette publication conjointe renforce ainsi la visibilité des recherches dans ce domaine et ouvrira certainement la porte à de futures applications des rayonnements synchrotron et sources de neutrons pour l'art, l'archéologie et la paléontologie.

→ **Contact :**  
[loic.bertrand@synchrotron-soleil.fr](mailto:loic.bertrand@synchrotron-soleil.fr)



## L'environnement à l'honneur à SOLEIL

**LES 13 ET 14 MAI 2014, SE TENAIT À SOLEIL UN WORKSHOP SUR L'ENVIRONNEMENT,** coordonné par Delphine Vantelon, scientifique responsable de la ligne LUCIA et Emiliano Fonda, scientifique responsable de la ligne SAMBA. L'évènement avait pour objectif de rassembler la communauté française et européenne des sciences de l'environnement pour établir un état des lieux de la

recherche réalisée à SOLEIL. Cet atelier a également permis d'identifier les atouts et les apports du rayonnement synchrotron dans le domaine, d'échanger sur les résultats clefs produits ces dernières années et de mener une réflexion prospective sur les moyens expérimentaux à développer à SOLEIL pour accompagner les thèmes émergents à fort enjeu

environnemental. En effet, le développement de techniques et spectroscopies spécifiques au rayonnement synchrotron offre des outils analytiques puissants et uniques particulièrement adaptés à la complexité des systèmes étudiés par les sciences de l'environnement : XAFS et XRD déclinées en gamme d'énergie, résolution spatiale et temporelle, micro et nano imagerie et



# SUCCESS-2014 à l'École de Physique des Houches

## LES SYSTÈMES FORTEMENT CORRÉLÉS, OÙ LES PARTICULES CONSTITUTIVES INTERAGISSENT FORTEMENT ENTRE ELLES,

ont depuis quelques années un des sujets d'étude de prédilection des physiciens. Lorsqu'il s'agit des électrons dans la matière, les fortes corrélations donnent lieu à des propriétés physiques uniques et très utiles, par exemple le ferro- ou l'antiferromagnétisme, la supraconductivité à haute température critique, la magnétorésistance géante.

Depuis plusieurs années, de nouvelles techniques d'analyse ont été mises au point pour étudier ces systèmes microscopiques. L'occasion était donc idéale de proposer à des étudiants en master ou doctorat, voire à de jeunes chercheurs de faire un tour d'horizon théorique et expérimental sur les techniques actuelles de spectroscopie utilisant les UV ou les rayons X pour ce type d'études. Co-organisé par l'Université Paris-Sud, SOLEIL et l'université de Würzburg en Allemagne, l'évènement baptisé SUCCESS 2014 s'est tenu du 1<sup>er</sup> au 12 septembre 2014 au Centre de Physique des Houches. Le Centre est situé dans les Alpes, au pied du Mont Blanc. Fondé en 1951, il jouit d'un très grand prestige international pour avoir accueilli de nombreux enseignants (ou étudiants) célèbres comme Enrico Fermi, Wolfgang Pauli, Walter Kohn ou Philippe Nozières.

Outre des cours généraux sur les électrons corrélés, les matériaux ou les modèles pour les problèmes à N corps, la cinquantaine de participants s'est familiarisée avec la photoémission dans toutes ses déclinaisons (résolue en angle, en temps, en spin), l'absorption et la diffusion élastique ou inélastique de rayons X, ou encore l'instrumentation avancée et les nouvelles sources de lumière, tels les synchrotrons de 3<sup>e</sup> génération, ou encore les lasers à électrons libres et les lasers UV et X par génération

d'harmoniques supérieures.

Une quinzaine d'intervenants provenant d'universités françaises, allemandes, et américaines ont partagé leur expérience au cours de cette école. Au programme également, de nombreux temps d'échanges autour des défis à relever pour ces domaines porteurs. L'occasion de rappeler l'importance du partage des connaissances et de l'interaction entre chercheurs futurs, jeunes et chevronnés pour imaginer toujours de nouvelles techniques et développer les innovations de demain.

### → Contacts:

[patrick.lefevre@synchrotron-soleil.fr](mailto:patrick.lefevre@synchrotron-soleil.fr)  
[andres.santander@csm.in2p3.fr](mailto:andres.santander@csm.in2p3.fr)



tomographie, NEXAFS, XES, STXM et les spectroscopie et spectromicroscopie dans l'UV et l'IR proche et lointain. Au

final 40 chercheurs se sont réunis pour discuter des différentes techniques synchrotron qui permettent d'étudier l'état des sols, les milieux aquatiques ou encore le comportement des plantes soumises à des métaux et nanoparticules. 11 chercheurs de différents instituts (dont deux conférenciers invités de l'ISTerre Grenoble, de l'EAWAG Suisse) ont présenté l'état actuel de ces recherches, et une table-ronde a été organisée afin d'envisager les perspectives et les futures études à mener dans ce domaine. Une première édition réussie, qui devrait

donner lieu à une nouvelle rencontre fin 2015, proclamée par l'ONU à la fois Année Internationale de la Lumière et Année Internationale des Sols.

### → Contact:

[delfine.vantelon@synchrotron-soleil.fr](mailto:delfine.vantelon@synchrotron-soleil.fr)

Voir aussi:

→ <http://www.synchrotron-soleil.fr/Workshops/2014/ENVIES2014/>

## COSMÉTIQUES

SOLEIL s'implique  
**dans la beauté  
et le bien-être humains**

Crèmes, shampoings, gels ou lotions, ces produits de haute technologie utilisés quotidiennement intègrent les dernières avancées scientifiques pour proposer textures, teintes, parfums ou principes actifs nouveaux. Le contrôle de leur qualité et de leur efficacité, mais aussi de leur innocuité, doit être extrêmement rigoureux.



Discussions devant les écrans de la ligne SWING.

Les réponses scientifiques et technologiques à ces attentes nécessitent de maîtriser les caractéristiques des produits cosmétiques (crèmes, émulsions, poudres, gels, solutions...) et des matrices biologiques (peau, cheveu, cil, sourcil, ongle, lèvre...), puis d'étudier leurs interactions. Parmi les études synchrotron

menées à SOLEIL, on peut citer l'hydratation et le dessèchement de la peau, le suivi de la pénétration de principes actifs dans la peau, le test de formulations anti-oxydantes sur la peau, l'encapsulation puis la libération dans la peau de la caféine possédant une activité liporéductrice, la variation de composition chimique entre cheveux d'origines géographiques différentes, le blanchissement des cheveux, l'effet de traitements chimiques ((dé)coloration, (dé)frisage...) sur la structure et la composition chimique des cheveux, la structure d'un dépôt de gloss séché... Ces exemples montrent que la cosmétologie est au premier plan des innovations produits.

Les **3** points clefs

- 1** SOLEIL a mis en place mi-2013 un partenariat privilégié avec la société Bio-EC, l'Université de Cergy-Pontoise et le pôle de compétitivité Cosmetic Valley, pour étudier l'efficacité et l'innocuité des produits cosmétiques dans une Plate-Forme Mutualisée d'Innovation, appelée Cosmétomique.
- 2** Les lignes SMIS, DISCO, SWING et dernièrement ANTARES sont impliquées dans les études cosmétiques.
- 3** Les lignes NANOSCOPIUM et ANATOMIX, permettront bientôt d'étudier des éléments de taille nanométrique (un milliardième de mm) telles que les nanoparticules.

