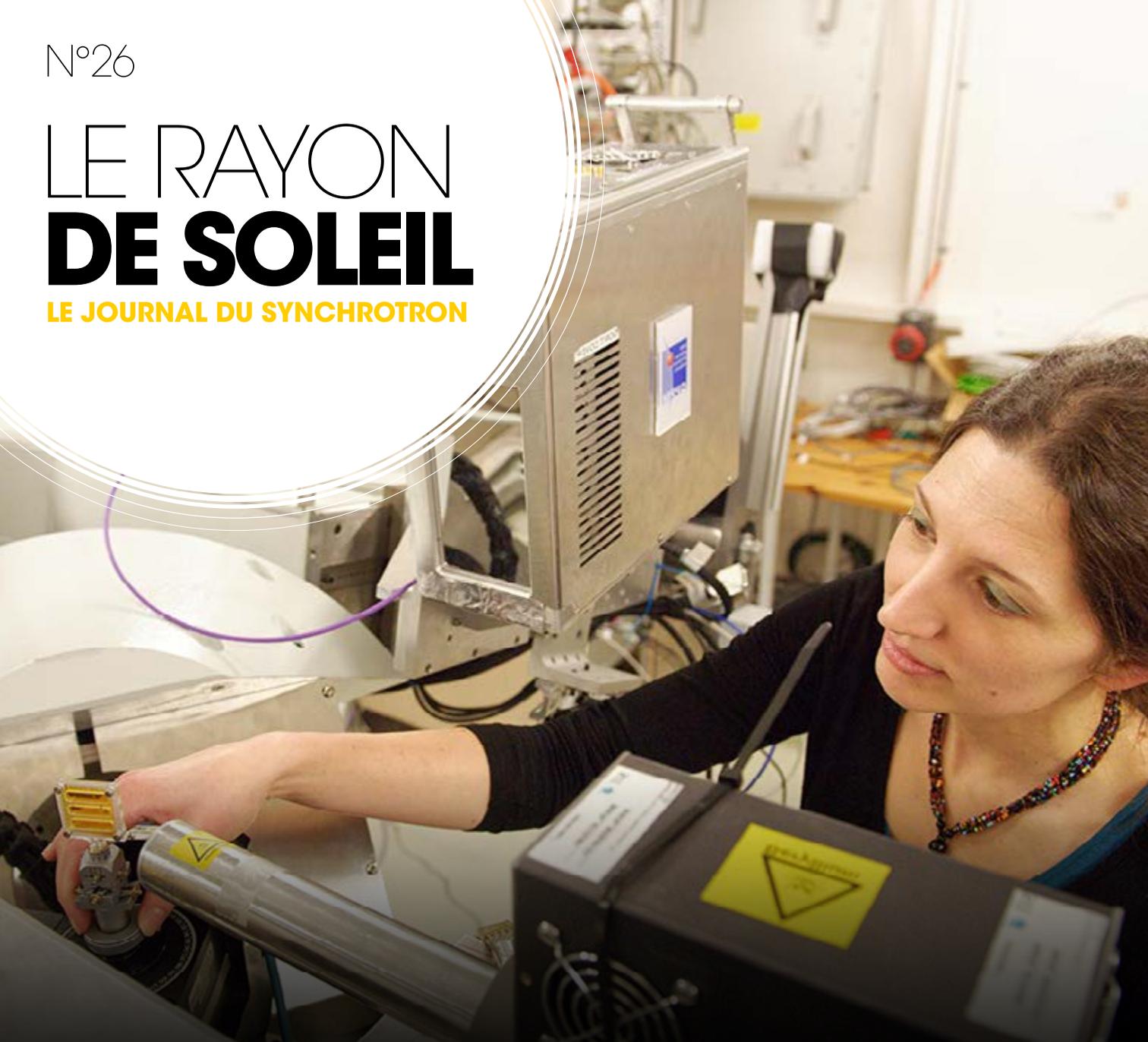


N°26

LE RAYON DE SOLEIL

LE JOURNAL DU SYNCHROTRON



Imageries 2 et 3 dimensions

07 LA RECHERCHE À SOLEIL

En apprendre sur la structure des protéines membranaires

09 NOUVEAUX ÉQUIPEMENTS

Un nouveau microscope X à SOLEIL
Explorer la matière à l'échelle nanoscopique

16 SAVOIR FAIRE

SOS lignes de lumière : les coordinateurs de hall à votre écoute...



04

LA RECHERCHE À SOLEIL

L'électronique de spin s'enrichit des électrons exotiques d'un isolant topologique

07

En apprendre sur la structure des protéines membranaires

09

NOUVEAUX ÉQUIPEMENTS

Un nouveau microscope X à SOLEIL

10

Un nouveau dispositif très Basse Température sur DEIMOS

13

SAVOIR FAIRE

Un anneau de stockage adapté au fonctionnement simultané des deux lignes longues

14

PORTRAIT D'EXPERT

Laurent Barthe, assistant ingénieur sur ligne de lumière

19

DOSSIER

Imageries 2 et 3 dimensions

26

INNOVATIONS

Le LBS³

30

LES COLLOQUES

32

DU SOLEIL DANS NOTRE VIE

Vers le stockage électrochimique de l'énergie, nouvelle génération



l'édito

**Jean Daillant
Directeur Général**

L'année 2016 était une année d'anniversaires. SOLEIL a fêté les 10 ans de ses premiers faisceaux : tout d'abord d'électrons, puisque c'est en mai 2006 qu'ont tourné les premiers électrons dans l'anneau de stockage. Puis la ligne DIFFABS fut la première à « voir la lumière » le 13 septembre 2006, bientôt suivie par TEMPO, ODE, SAMBA et DESIRS cette même année.

En dix ans, que d'accomplissements ! Le 26 septembre 2016, le faisceau X a atteint la première cabane expérimentale de la ligne ANATOMIX. Lorsque ce sera au tour de PUMA, début 2017, les 29 lignes de lumière de SOLEIL auront reçu des photons. Par ailleurs, les premières impulsions X ultra-courtes ont été produites par slicing sur TEMPO le 6 décembre 2016, quasiment 10 ans jour pour jour après l'inauguration de SOLEIL.

Nous avons choisi de placer les techniques d'imagerie au cœur de ce numéro du Rayon de SOLEIL. Depuis 2016, un second microscope est à disposition des utilisateurs sur la ligne HERMES : après le XPEEM, une station STXM permet à présent de bénéficier de la haute cohérence du faisceau synchrotron pour imager des échantillons en environnements variés, jusqu'à une résolution de 20 nm. Chaque ligne de SOLEIL ayant ses spécificités, « l'éventail des possibles » expérimentaux est très large : imagerie en 2D ou en volume ; des infrarouges aux rayons X durs ; une résolution spatiale du micron à la dizaine de nanomètres, et une résolution temporelle inférieure à la picoseconde ; des techniques d'absorption, fluorescence, photoémission, diffraction, contraste de phase qui, de plus, peuvent être couplées...

La montée en nombre des lignes et techniques disponibles va de pair avec une augmentation des volumes de données à analyser. SOLEIL s'y adapte, avec plusieurs projets permettant le traitement des mesures en temps réel.

Cette année 2017 sera, notamment, une année de réflexion autour d'un upgrade de SOLEIL, processus itératif entre les lignes de lumière et les accélérateurs qui prendra en compte les spécificités et atouts du synchrotron. Cet upgrade vient s'inscrire dans notre démarche de réponse aux besoins et attentes de nos communautés scientifiques utilisatrices en termes de caractéristiques et propriétés du faisceau synchrotron, tout en préservant notre large gamme de longueurs d'onde et de techniques expérimentales.

Nous vous en parlerons plus en détail dans la prochaine édition du Rayon de SOLEIL.

D'ici-là, je vous souhaite une excellente année 2017.

EN BREF**ATELIER SCIENTIFIQUE INTERACTIONS PEAU-PRODUIT**

SOLEIL a été partenaire de la 1^{ère} édition des ateliers scientifiques de la Cosmetic Valley qui s'est tenue le 21 septembre 2016 à l'Université de Cergy-Pontoise devant plus d'une centaine d'acteurs du secteur de la cosmétique. SOLEIL est intervenu à chaque étape de la journée : conférence scientifique, discours pour l'inauguration de la Plateforme mutualisée d'innovation (PFMI) Cosmetomics dans les locaux de l'Université, et présentation des équipements et des compétences de SOLEIL dans l'atelier technique.

**INRA-SOLEIL : 10 ANS DÉJÀ**

Le partenariat fort conclu entre l'INRA et SOLEIL depuis 2006 continue à porter ses fruits. Après une première édition en 2012, un nouveau document paru en janvier 2017 présente une sélection de résultats obtenus à SOLEIL par différentes équipes de l'INRA.

MÉDICAL**Des analyses de biopsies facilitées, grâce au « Diagotron »**

Plusieurs lignes de SOLEIL sont déjà fortement impliquées dans des recherches en diagnostic médical (évaluation de qualité de greffon, identification de pathologies

rénales, pronostic de cancer...) mais l'objectif du projet Diagotron est d'aller plus loin. Il s'agit, pour allier rapidité et régularité d'accès, de réserver un créneau hebdomadaire de temps de faisceau pour les échantillons médicaux, et de compléter les infrastructures existantes à SOLEIL afin d'optimiser leur traitement : sécurité, conservation, préparation, anonymisation.

D'autre part, des protocoles et équipements d'analyse spécifiques développés à SOLEIL dans ce cadre pourront être exportés vers les établissements médicaux ; le centre hépatobiliaire (CHB) de Villejuif avait déjà bénéficié d'un tel transfert de technologie en 2013 (microscope IR pour analyse de greffon de foie).

Le projet, validé par la Direction de SOLEIL, est d'ores et déjà soutenu par plus d'une douzaine de services hospitaliers, en Ile de France et province.

Dans un premier temps institut virtuel utilisant les ressources présentes à SOLEIL, le Diagotron pourrait à terme se « matérialiser » dans des locaux dédiés.

**PARTENARIAT
MAX IV**

La dernière réunion de pilotage entre SOLEIL et le futur synchrotron suédois MAX IV a eu lieu à SOLEIL les 24 et 25 octobre 2016. Les résultats issus depuis 4 ans de cette collaboration ont permis de renforcer le partenariat entre les deux synchrotrons à travers 6 projets d'intérêt incluant des transferts de savoir-faire et du développement instrumental.

SOLEIL et MAX IV envisagent de continuer leur collaboration pour les années à venir.



**Pour vous
abonner**

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

CASSIOPEE

L'électronique de spin

s'enrichit des électrons exotiques d'un isolant topologique

Une étude menée conjointement par des chercheurs de l'unité mixte de physique CNRS-Thales et du CEA INAC en collaboration avec l'équipe de la ligne CASSIOPEE a conduit à l'observation d'une forte conversion spin-charge à température ambiante obtenue grâce à la structure électronique particulière de l'isolant topologique α -Sn. Des mesures de photoémission angulaire (ARPES) et de pompage de spin par résonance ferromagnétique ont permis de mettre en évidence ce phénomène prometteur pour la spintronique.

Le fonctionnement de la plupart des dispositifs de spintronique actuels est basé sur la manipulation de courants de spin qui ne transportent pas de charges électriques. Ces courants peuvent être décrits comme des flux égaux d'électrons portant des spins opposés et se propageant dans des directions opposées.

Les processus essentiels mis en jeu en spintronique sont la création de tels courants de spin à partir de courants de charges ou leur détection en les transformant en courants de charges. Dans les deux cas, il s'agit donc de phénomènes de conversion entre courants de charges et courants de spin. Habituellement, ces conversions sont réalisées grâce à des matériaux magnétiques mais il apparaît maintenant que le phénomène d'interaction spin-orbite peut également être utilisé.

Des exemples typiques d'effet du couplage spin-orbite sont l'effet Hall de spin dans les métaux lourds par lequel un courant de charges peut être converti en un courant de spin transverse et l'effet Hall de spin inverse qui permet la conversion inverse. Cet effet de génération de courant de spin grâce à l'interaction spin-orbite peut aussi être mis à profit pour le retournement de l'aimantation dans des mémoires magnétiques. L'un des

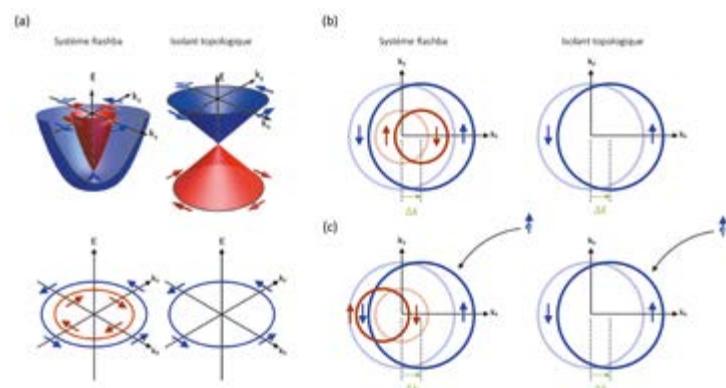


Fig. 1. (a) Dispersions $E(k)$ des états bidimensionnels de surface ou d'interface dans un système Rashba et dans un isolant topologique. Les systèmes Rashba présentent des contours de Fermi (ensemble des valeurs de k_x et k_y correspondant à l'énergie de Fermi, soit le niveau de remplissage de la bande de conduction dans le cas présent) circulaires avec des polarisations en spin tangentielle dans des directions opposées pour chacun des contours (rouge et bleu sur la figure). Les isolants topologiques présentent un seul contour de Fermi avec une polarisation en spin tangentielle. (b) Effet Edelstein dans un système Rashba et dans un isolant topologique. Un courant électrique suivant k_x correspond à un surplus de vecteur d'onde Δk pour les états électroniques au niveau de Fermi, c'est-à-dire à un décalage Δk des contours de Fermi. Ce décalage conduit à un enrichissement en spin «up» selon k_y (partiellement compensé dans le cas du système Rashba) et donc à l'apparition d'une polarisation en spin nette selon y . (c) Effet Edelstein inverse dans un système Rashba et dans un isolant topologique. Un courant polarisé en spin «up», par exemple selon y , est injecté dans le gaz d'électrons bidimensionnel dans des états de spin «up», donc à k_x positif. L'accumulation d'électrons de spin «up» conduit donc à un décalage Δk des contours de Fermi qui correspond à un courant électrique selon k_x .

avantages, comparé aux jonctions tunnel classiques, est que le courant de spin est orthogonal au courant de charge qui ne doit donc pas traverser la jonction tunnel au risque de la dégrader.

Il apparaît aujourd'hui qu'une conversion plus efficace pourrait être obtenue en exploitant les propriétés de polarisation en spin de gaz d'électrons bidimensionnels qui existent à la surface de certains matériaux. Cette polarisation en spin peut résulter de l'interaction spin-orbite générée par le fort gradient de potentiel dû à la rupture de symétrie engendrée par la surface (effet Rashba) ou de la structure électronique particulière existant dans une classe de matériaux appelés isolants topologiques. Dans ces deux familles de matériaux, il existe une texture de spin résultant de la relation existant entre la direction des spins et le vecteur d'onde k des états électroniques qui sont perpendiculaires. Ainsi, les contours d'énergie constante sont circulaires et la polarisation en spin est tangente à ces cercles (Fig. 1a).

La géométrie particulière de ces textures de spin implique qu'un courant électrique dans ce type de gaz d'électrons 2D s'accompagne automatiquement de l'apparition d'une polarisation en spin, c'est-à-dire d'une accumulation de spin dans la direction perpendiculaire au courant. Il s'agit de l'effet Edelstein (Fig. 1b) qui peut être assimilé à un phénomène de conversion charge - spin.

L'effet Edelstein inverse existe aussi et correspond à la conversion inverse spin - charge (Fig. 1c). Dans ce cas, l'injection d'un courant de spin vertical possédant une polarisation, par exemple un spin «up», conduit à l'apparition d'un courant électrique dans le gaz bidimensionnel d'électrons.

Le but de ce travail [1] était d'étudier l'existence d'un effet Edelstein inverse dans α -Sn(001) dont les propriétés d'isolant topologique ont été récemment mises en évidence [2] et une efficacité de conversion spin - charge jamais atteinte jusqu'à présent a été observée. Pour pouvoir observer cet

effet, et il est nécessaire d'injecter dans l'isolant topologique des électrons polarisés en spin. D'un point de vue pratique, cela nécessite la croissance d'un film mince ferromagnétique sur l'isolant topologique. Pour intégrer ces états de surface dans des composants spintronique, il est donc intéressant de suivre l'évolution de ces états lorsqu'ils sont recouverts par un matériau. Des films minces de 30 plans atomiques de α -Sn(001) constituant l'isolant topologique de départ, ont donc été déposés par épitaxie par jet moléculaire sur InSb(001). Ils ont ensuite été caractérisés par photoémission angulaire (ARPES) puis ont été recouverts par des films de différentes épaisseurs de Fe et d'Ag.

Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 2. Les cônes de Dirac observés sur les surfaces α -Sn(001) nues sont caractéristiques d'un état de surface topologique. Le point de Dirac (qui correspond aux sommets confondus des cônes inférieur et supérieur) est situé à environ 30 meV sous le niveau de Fermi. On observe que cet état topologique disparaît dès que la surface α -Sn(001) est couverte par une fraction de plan atomique de Fe tandis qu'il subsiste quand la surface est couverte par un film d'argent, même pour une épaisseur allant jusqu'à 12 Å. Le film d'Ag ne détruit donc pas cet état topologique qui subsiste à l'interface mais déplace le point de Dirac vers une énergie de liaison plus élevée (environ 75 meV sous le niveau de Fermi).

Des mesures de pompage de spin par résonance ferromagnétique destinées à mesurer une éventuelle conversion spin - charge ont ensuite été réalisées sur différents empilements : InSb(001)/Fe/Au (pour des mesures de référence sur un film de Fe), InSb(001)/ α -Sn(001)/Fe/Au et InSb(001)/ α -Sn(001)/Ag/Fe/Au. Le principe de ces mesures consiste à appliquer un champ magnétique statique dans le plan des films minces de façon à générer une aimantation macroscopique dans la couche de Fe puis à appliquer, dans la direction perpendiculaire mais toujours dans

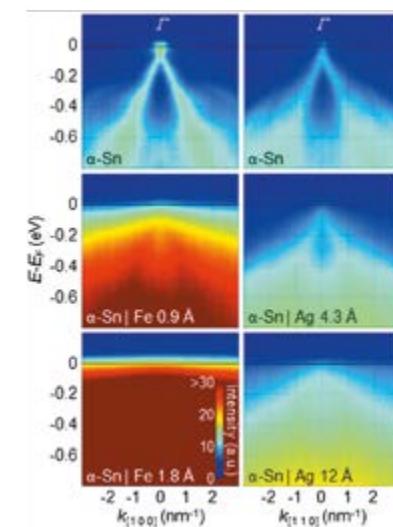


Fig. 2 État de surface de α -Sn mesuré par ARPES pour des surfaces nues (haut) puis couvertes de films de Fe (gauche) et d'Ag (droite) de différentes épaisseurs.

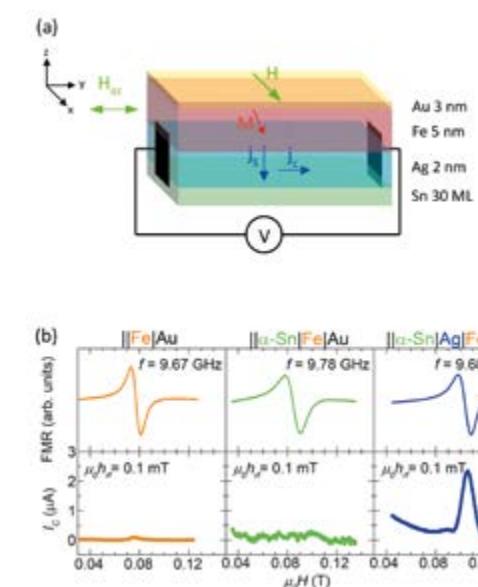


Fig. 3 (a) Schéma de la situation expérimentale permettant de réaliser les expériences de pompage de spin. Le champ magnétique H appliqué selon la direction x oriente l'aimantation macroscopique M du Fe qui précède sous l'effet du champ radiofréquence H^{RF} appliqué selon la direction y . Cette précession entraîne l'injection dans les couches non magnétiques selon la direction z d'un courant de spin j_s qui est finalement converti en un courant de charges j_c selon la direction y et détecté ici par la différence de potentiel apparaissant entre les bords de l'échantillon. (b) Résultats de résonance ferromagnétique (haut) et mesures du courant de charges pour les 3 empilements étudiés (bas).

le plan des films, un champ radiofréquence de fréquence variable qui fait précéder l'aimantation. À la fréquence de résonance, un courant de spin est injecté dans les couches non magnétiques et un éventuel courant de charge peut être détecté par l'apparition d'une tension entre les bords de l'échantillon (Fig. 3a). La figure 3b présente les résultats de résonance ferromagnétique (haut) et le signal de courant de charges pour les 3 empilements (bas). Il a été observé que seul l'échantillon où un film d'Ag est intercalé entre la couche ferromagnétique de Fe et l'isolant topologique α -Sn(001) (c'est-à-dire lorsque le cône

de Dirac est observé par ARPES) présente un signal clair de courant de charge résultant d'un phénomène de conversion spin - charge. L'efficacité de cette conversion peut être quantifiée par le coefficient λ_{IEE} qui est le rapport du courant de spin injecté sur le courant de charge généré. Une valeur de $\lambda_{IEE} = 2.1$ nm est trouvée sur ce système ce qui est très supérieur aux valeurs obtenues jusqu'à présent, par exemple à l'interface Bi/Ag ou avec d'autres systèmes Rashba.

Ce résultat prometteur, observé à température ambiante, ouvre la voie à la réalisation de nouveaux compo-

sants d'électronique de spin, et ceci bien que l'origine des états topologiques du α -Sn n'ait pas encore été entièrement élucidée. D'autres expériences permettront certainement une meilleure compréhension de ce nouvel isolant topologique.

➔ **Contacts :**
jean-marie.george@cnsr-thales.fr ;
francois.bertran@synchrotron-soleil.fr

Références :
 [1] J.-C. Rojas-Sánchez *et al.* Phys. Rev. Lett. 116, 096602 (2016).
 [2] Y. Ohtsubo *et al.* Phys. Rev. Lett. 111, 216401 (2013).

Spintronique

La spintronique - ou électronique de spin - est une nouvelle électronique qui, en plus de la charge de l'électron, exploite son spin. L'idée de base est d'intégrer dans les dispositifs des matériaux ferromagnétiques et d'utiliser l'influence du spin des électrons sur leur mobilité. Par exemple, on peut concevoir des mémoires

vives magnétiques (MRAM) non volatiles dont les briques de base sont des jonctions tunnel magnétiques dans lesquelles le bit d'information 0 ou 1 correspond à l'orientation parallèle ou anti-parallèle des aimantations de deux couches minces ferromagnétiques séparées par une barrière isolante. La lecture de

l'information se fait grâce à l'effet de magnétorésistance tunnel (la résistance électrique dépend de l'orientation relative des deux aimantations) et l'écriture de l'information se fait grâce à l'injection de courants de spin capables de renverser une aimantation pour des densités de courant suffisamment élevées.

Isolants topologiques

Parmi beaucoup d'autres propriétés, un matériau peut être soit conducteur, soit isolant. La différence fondamentale à l'origine de l'un ou l'autre de ces états se trouve dans la structure de bande, c'est-à-dire dans la façon dont les électrons sont répartis en énergie de liaison. Dans un conducteur, il existe des états occupés et des états inoccupés au niveau de Fermi et des électrons peuvent acquérir un petit surplus d'énergie pour être mis en mouvement et établir un courant électrique. Dans un isolant, il existe une bande d'énergie interdite (un gap) entre

les états occupés et les états inoccupés et les électrons ne peuvent pas facilement être promus vers des états inoccupés car la différence d'énergie est trop importante. Un courant électrique ne peut donc pas s'établir. En 2005 et 2007, un nouveau type d'isolant a été prédit théoriquement avant d'être observé expérimentalement pour la première fois en 2007. Dans ces matériaux, une propriété de la structure de bande (sa topologie) combinée à l'interaction spin-orbite engendre l'existence d'états électroniques dans le gap mais uniquement à la surface d'un

matériau 3D (ou sur les bords d'un matériau 2D). Ces états de surface se présentent sous la forme de cônes de Dirac et possèdent à la fois des états occupés et des états inoccupés au niveau de Fermi, condition pour être conducteurs. Un isolant topologique est donc un matériau isolant en volume mais conducteur en surface. De plus, la topologie particulière des états électroniques de ces matériaux fait que ces états de surface conducteurs ne peuvent être détruits par des défauts ou des impuretés non magnétiques, contrairement aux états de surface classiques.

SWING

En apprendre sur la structure des protéines membranaires

Une modélisation hybride basée sur des données de SAXS

Les protéines membranaires jouent un rôle crucial dans le transport et la signalisation cellulaires, et sont de ce fait des cibles-clés pour de nombreux médicaments. Leur localisation spécifique et leurs propriétés amphiphiles sont autant d'obstacles à l'étude de leurs structures. Sur la ligne SWING, une stratégie a été développée pour s'attaquer à ces protéines réfractaires.

Les protéines membranaires sont des protéines qui sont fonctionnelles au sein des membranes lipidiques qui entourent les cellules biologiques et les compartiments cellulaires. Étant simultanément en contact avec l'intérieur et l'extérieur du compartiment cellulaire, elles jouent un rôle crucial dans le transport et la signalisation cellulaires, et constituent souvent des cibles essentielles des molécules médicamenteuses. Les protéines membranaires ont toutes en commun un domaine structural dont la surface est hydrophobe, ce qui leur permet d'être insérées au sein de la membrane, l'intérieur de celle-ci étant elle-même constituée de chaînes lipidiques hydrophobes. C'est principalement pour cette raison que ce sont des objets notoirement difficiles à étudier. Malgré une augmentation continue, le nombre de structures connues de protéines membranaires (dont une base de données est accessible à l'adresse http://blanco.biomol.uci.edu/Membrane_Proteins_xtal.html) reste inférieur à 2 % du nombre total de structures de protéines, alors qu'elles sont le produit d'environ 30 % du génome. La diffusion des rayons X aux petits angles (SAXS) est une méthode expérimentale qui permet de distinguer

précisément différents modèles structuraux de protéines en solution. Son apport est précieux dans toutes les études structurales, et en particulier celles basées sur la cristallographie des protéines. Cependant, à l'instar des autres techniques, l'étude de protéines membranaires par SAXS n'est pas une tâche aisée.

Celles-ci sont non seulement difficiles à surexprimer, à extraire et à purifier, mais elles doivent aussi être maintenues dans un environnement amphiphile, ce qui empêche de les étudier de manière isolée. Pour être maintenues repliées en solution, les protéines membranaires doivent être associées à des molécules amphiphiles (le plus souvent des détergents, mais des environnements lipidiques sont de plus en plus utilisés), dont les chaînes hydrophobes couvrent la surface transmembranaire de la protéine et la masquent vis-à-vis du solvant (l'eau). Or, lorsque leur concentration atteint des valeurs permettant de dissoudre les protéines membranaires (i.e. supérieures à leur concentration micellaire critique ou cmc), les molécules de détergent s'associent elles-mêmes spontanément en micelles libres, avec un pouvoir de diffusion des rayons X comparable à celui des protéines. La coexistence de particules de

différente nature dans l'échantillon nécessite alors d'employer une stratégie spécifique pour tirer des informations structurales des protéines, une méthode mise au point sur la ligne SWING [1].

Chromatographie d'exclusion de taille en ligne

Pour mettre en œuvre cette stratégie, il est nécessaire d'utiliser un système de chromatographie en ligne (SEC-SAXS). La solution concentrée de protéines (par un processus qui conduit également à concentrer les micelles de détergent) est éluée à travers une colonne pré-équilibrée avec un tampon contenant le détergent. Le processus de chromatographie garantit alors non seulement une concentration en micelles libres autour de la protéine identique à celle du tampon, mais également l'éluion de l'excédent de micelles libres issu de la solution injectée à un volume de rétention différent, généralement supérieur, de celui du complexe protéine-détergent. Les données SAXS collectées sous le pic des protéines peuvent alors être traitées de la même manière que pour une protéine soluble, c'est-à-dire par la soustraction expérimentale des données du tampon collectées juste avant l'éluion.

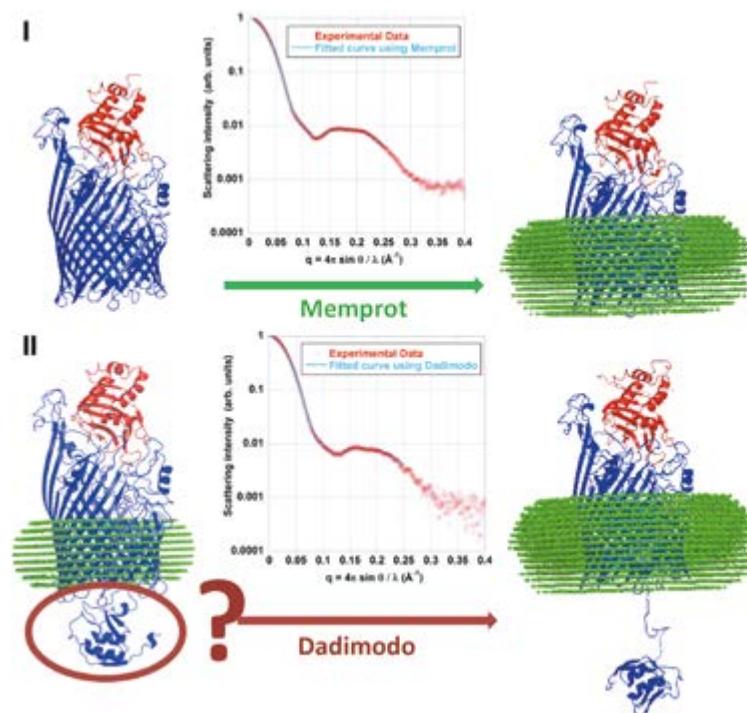


Figure 1. Sur SWING a été développée une stratégie en deux étapes pour modéliser la conformation d'une protéine transmembranaire. Cette stratégie est basée sur une information structurale partielle à haute résolution, et des contraintes expérimentales issues de diffusion de rayons X aux petits angles couplée à un système de chromatographie en ligne.

Un modèle hybride protéine/détergent, grâce à Memprot

La première étape de la stratégie consiste alors à utiliser le programme Memprot développé sur SWING pour modéliser par une approche « gros grain » une couronne de détergent en forme de tore elliptique autour d'une construction de structure atomique connue de la protéine (Fig. 1, partie supérieure). Le programme a été mis au point sur la ligne SWING sur la base de données expérimentales collectées sur l'aquaporine-0, solubilisée en dodécylmaltozide (DDM). L'existence d'un jeu optimal unique de paramètres pour lequel la courbe expérimentale est parfaitement ajustée a pu être montrée, ce qui suggère que l'approche hybride gros grain/structure atomique peut être considérée comme une base fiable de modélisation [2].

Étude des interactions, avec Dadimodo

La seconde étape consiste ensuite à mettre à profit le modèle de la construction connue, pour analyser les interactions (inconnues) de celle-ci avec des partenaires protéiques solubles, qu'il s'agisse de domaines supplémentaires dans la même chaîne ou de protéines distinctes formant un complexe avec la protéine membranaire (Fig. 1, partie inférieure). Ainsi, Wojtowicz *et al.* [3] ont pu étudier les interactions entre le domaine de signalisation périplasmique du transporteur d'hème HasR et sa partie transmembranaire en présence ou en l'absence de l'hémophore extérieur HasA. Étant donné l'absence de symétrie de HasR, la conception de la couronne de détergent a dû être améliorée pour imiter la forme de la protéine dans le plan transmembranaire sans augmenter

pour autant le nombre de paramètres. L'optimisation de la position du domaine de signalisation a été réalisée avec une version spécialement modifiée du programme d'amarrage Dadimodo, basé sur un algorithme génétique et également développé à SOLEIL, qui devrait prochainement être mise à disposition des utilisateurs sur le Web. Les résultats de l'étude indiquent que le domaine de signalisation de HasR se rapproche de la partie principale lorsque la protéine est associée à HasA.

→ **Contact:**
javier.perez@synchrotron-soleil.fr

Références :
 1- A. Berthaud *et al.*, JACS (2012), 134, 10080.
 2- J. Pérez & A. Koutsioubas, Acta Cryst. (2015), D71, 86.
 3- H. Wojtowicz *et al.*, Biochem. J. (2016) 473, 2239.

Sur les lignes de lumière et dans les laboratoires support de SOLEIL, les équipements évoluent en permanence, en fonction des besoins et des attentes des chercheurs. Cette nouvelle rubrique a pour but de présenter brièvement les derniers dispositifs en date, avec un focus plus particulier sur deux d'entre eux. Pour cette première édition, nous nous tournons vers DEIMOS et HERMES.

Un nouveau microscope X à SOLEIL

Explorer la matière à l'échelle nanoscopique

HERMES est une ligne de lumière dédiée à la microscopie de rayons X mous. L'originalité de HERMES est de combiner deux approches différentes (STXM & XPEEM) sur la même ligne dans le but d'atteindre des résolutions spatiales inférieures à 20nm. Alors que le XPEEM est déjà opérationnel et ouvert aux utilisateurs depuis plusieurs années, le STXM est un nouveau dispositif récemment installé sur la ligne HERMES.

Le STXM permet de bénéficier de la haute cohérence du faisceau synchrotron pour focaliser de façon extrême les rayons X à l'aide d'optiques diffractives dédiées, jusqu'à quelques dizaines de nanomètres. Le faisceau est ensuite balayé sur la surface de l'échantillon (le balayage peut aussi être fait en faisant bouger l'échantillon sous le faisceau fixe) et les photons transmis sont collectés pour former une image agrandie de la zone balayée.

Le STXM est probablement parmi les méthodes les plus appropriées pour répondre à la demande croissante pour explorer les matériaux hétérogènes. En plus de tirer profit des propriétés uniques du synchrotron, il permet de combiner des méthodes spectroscopiques et microscopiques. Enfin, le STXM permet de fonctionner avec des environnements échantillons très versatiles : liquides, forts champs magnétiques, cryogénie... Ceci permet

de couvrir une large gamme de domaines scientifiques et de champs d'application : magnétisme, matière molle, biologie... Le microscope STXM est actuellement opérationnel et ouvert aux utilisateurs.

Toutes les spécifications ciblées en termes de résolution spatiale et en énergie, flux... ont été atteintes.

→ **Contact:**
rachid.belkhou@synchrotron-soleil.fr

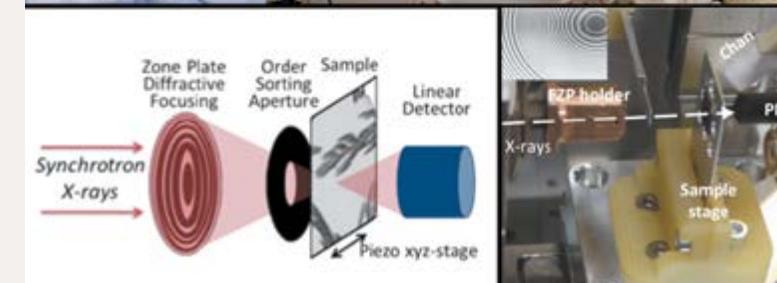


Figure 1.Haut: Le microscope STXM installé sur la ligne HERMES.

Bas, à gauche: Schéma de principe d'un microscope STXM. Les rayons X sont focalisés à l'aide de lentilles Fresnel Zone-Plate. Un diaphragme placé en aval permet d'éliminer les ordres de diffraction supérieurs du faisceau diffracté. Le faisceau focalisé est balayé à travers la surface de l'échantillon (ou inversement). Les rayons X transmis au travers de l'échantillon sont collectés à l'aide d'un photomultiplicateur. Bas, à droite: Vue interne des platines de balayage du microscope.

Un nouveau dispositif Très Basse Température sur DEIMOS

*IPCMS: Institut de Physique et de Chimie des Matériaux de Strasbourg.
*IMPIC: Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie (Paris).

Références:
[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Dilution_refrigerator; P. Sainctavit & JP Kappler, Magnetism and Synchrotron Radiation, Lecture Notes in Physics, Springer, p. 235 (2001).

[2] I. Létard *et al.*, J. of Appl. Phys. 101, 113920 (2007).

Les propriétés magnétiques de la matière dépendent essentiellement de deux paramètres physiques : la température (T) et le champ magnétique (H). Plus le rapport H/T est grand, plus l'état fondamental du système est accessible. Du point de vue expérimental, augmenter ce rapport en augmentant le champ, conduit rapidement à la limite des champs statiques (environ 15 teslas), au contraire diminuer T d'un facteur 20 est relativement aisé. Les entreprises de cryogénie proposent des cryostats avec des performances de quelques dizaines de mK, évidemment sans les contraintes de l'environnement rayonnement synchrotron (RS). Dans les centres de RS, sur une ligne dédiée au dichroïsme circulaire magnétique de rayons X (XMCD) on atteint généralement un rapport H/T de l'ordre de 1. Sur la ligne DEIMOS, CroMag est caractérisé par un rapport de 5 et le projet Dichro50 vise un rapport d'environ 100, grâce au développement d'un insert capable de mesurer le dichroïsme magnétique à T=50 mK (soit -273,05 °C).

Les spécificités des dispositifs XMCD fonctionnant à très basses températures (TBT)

L'utilisation d'un réfrigérateur à dilution $^3\text{He}-^4\text{He}$ [1] permettant des environnements TBT est courante pour les expériences de base, mais dans le cas de XMCD le dispositif nécessite un aimant supraconducteur (champs intenses), une isolation électrique de l'échantillon, des accès optiques, un environnement ultra-vide, une manipulation et un transfert d'échantillon *in situ*; toutes ces contraintes compliquent considérablement les développements expérimentaux du dichroïsme magnétique à TBT. Depuis 20 ans, *via* des associations initiées avant la construction de SOLEIL, chercheurs et ingénieurs du LURE, de l'IPCMS* et de l'IMPIC**, ont étudié et mis en place des dispositifs dédiés aux études de XMCD à TBT. Ils détiennent toujours le record du monde des expériences TBT (T limite=300mK) dans les centres de RS, et ceci grâce au cryostat TBT-SOLEIL installé depuis 2006 sur la ligne SIM à SLS et dédié essentiellement aux études du magnétisme moléculaire.

L'originalité du nouveau dispositif de DEIMOS

Pour des expériences d'absorption X à basse énergie et à TBT, l'échantillon doit être électriquement isolé et en contact avec la source froide. Les scientifiques susnommés ont inventé et validé l'utilisation d'une rondelle en saphir qui sépare la boîte à mélange en deux parties; ceci permet de vérifier le critère d'isolation sans rajouter d'impédance thermique: le porte-échantillon est en contact direct avec le bain d'He (mélange $^3\text{He}-^4\text{He}$). Ils ont pu montrer, grâce à l'observation des phénomènes physiques attendus [2], que la température de l'échantillon était bien celle du bain d'hélium et donc celle du thermomètre plongé dans le liquide. Cette invention est un point clé du nouvel insert de DEIMOS et une promesse de réussite. Après une période de tests de faisabilité (2015), le dessin et la réalisation ont débuté juin 2016. Les premiers tests, sous faisceau, sont programmés début 2017.

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

Le projet Dichro50

Le projet implique la fabrication d'un dispositif, avec une température limite de 50 mK et la mise en place dans le cryostat de DEIMOS, et ceci grâce au transfert de technologie et de savoir-faire de SOLEIL vers l'entreprise française CryoConcept. Dans le cadre de ce transfert de connaissances, le projet a été sélectionné pour un investissement de la SATT Paris-Saclay, mais aussi par trois autres programmes prestigieux (LabEx, PALM, ASTRE). De plus le projet a obtenu le support financier de 10 laboratoires européens à travers le consortium DILUX.



Figure 1 - à gauche : vue 3D d'une coupe du cryostat 7 teslas de DEIMOS, détails des derniers étages froids de la dilution ; à droite : photos des composants en cours de montage (avec l'aimable autorisation de Cryoconcept).

Thématiques Scientifiques

Les études magnétiques des aimants moléculaires (*cf.* Rayon de SOLEIL 25, p.4), des systèmes fortement corrélés, des ions paramagnétiques isolés, des amas super-paramagnétiques, de l'ordre magnétique dans les radicaux organiques ou encore des gaps supraconducteurs sont au cœur des thématiques de la communauté utilisant les dispositifs à Très Basse Température (TBT). Elles profitent au maximum des spécificités du dichroïsme magnétique, outil principal de la ligne de lumière DEIMOS.

CD dispersif sur DISCO

La ligne DISCO comprend 3 stations expérimentales, dont une de dichroïsme circulaire avec rayonnement synchrotron (SRCD). Jusqu'à présent la technique mise en œuvre était le CD « classique » : l'absorption par l'échantillon de la lumière circulairement polarisée, successivement gauche puis droite, est mesurée longueur d'onde par longueur d'onde. La réalisation d'un spectre complet prend dans ce cas environ cinq minutes.

En utilisant les propriétés du rayonnement synchrotron, naturellement polarisé circulairement droit au-dessus de l'orbite des électrons et gauche au-dessous, il est possible d'enregistrer en une

seule fois les deux composantes droite/gauche de l'absorption par spectrographie. La seule limite de vitesse de mesure est alors celle de la chaîne de détection, soit de l'ordre de la microseconde par spectre complet. Cette technique, dite de CD dispersif, est en cours de mise en œuvre : l'intensificateur et la caméra sont en place, le spectrographe opérationnel, les mesures de polarimétrie ont été effectuées. À partir de début 2017, le dispositif rendra par exemple accessible le suivi « en direct » du repliement d'une protéine entière, en solution.

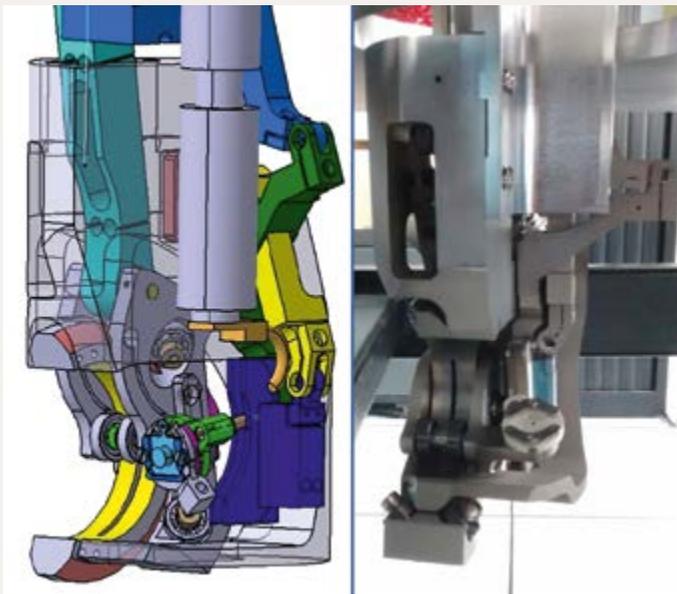
→ **Contact:**
matthieu.refregiers@synchrotron-soleil.fr

Scans continus dans l'espace réciproque sur SIXS

SIXS est dédiée à l'étude de la structure des surfaces, interfaces ou nano-objets par des techniques de diffusion/diffraction des rayons X. Cette ligne permet d'étudier des échantillons préparés sous vide ou dans des environnements divers (chambre de réactivité, cellules d'électrochimie, cuve de Langmuir...). Les mesures peuvent se faire *in situ, operando* et en temps réel. SIXS s'est dotée d'un détecteur hybride bidimensionnel couplé à un système d'atténuateurs automatiques, qui permettent d'enregistrer des données avec une très grande dynamique tout en restant toujours dans la plage linéaire de comptage. L'acquisition des données est réalisée grâce au pro-

toque « FLYSCAN » (*cf.* Rayon de SOLEIL 22, p. 9), qui ouvre des possibilités d'acquisition des données dans l'espace réciproque à des vitesses jusqu'alors inégalées. Ce type de scan permet d'exploiter la précision des encodeurs des diffractomètres en garantissant des mesures à très haute résolution. Ces modalités de scans très rapides permettent, de plus, d'effectuer des mesures sur des systèmes évoluant sur des temps très courts. Ce nouveau mode d'acquisition sera disponible pour les utilisateurs en 2017.

→ **Contact:**
alessandro.coati@synchrotron-soleil.fr



Vue 3D du nouveau manipulateur de CASSIOPEE, et photo du dispositif en décembre 2016.

... Suite de la page 11

Manipulateur sur CASSIOPEE

L'une des deux branches de la ligne CASSIOPEE, dédiée à la spectroscopie de photoélectrons, est équipée d'une station de photoémission résolue en angle, à haute résolution en énergie; les mesures consistent alors à collecter les électrons en fonction de leur angle d'émission. Pour cela, l'échantillon est fixé à un manipulateur, qui l'oriente par rapport à l'analyseur d'électrons (fixe) et permet aussi de réguler la température de l'échantillon. Le manipulateur actuel oriente l'échantillon uniquement autour d'un axe vertical, et permet de le refroidir jusqu'à environ 5 K.

Pour gagner en performances et en confort de mesure un nouveau manipulateur, développé dans le cadre de la collaboration entre SOLEIL et MAX IV, est en cours d'installation. Il permettra cette fois trois rotations: autour de l'axe vertical, d'un axe horizontal passant par la surface de l'échantillon, et de la normale à la surface de l'échantillon; la température minimum sera de 9-10K. Premiers tests prévus pour janvier 2017.

→ **Contact:**
patrick.lefevre@synchrotron-soleil.fr

NanoIR sur SMIS

Le microscope nanoIR est une technologie basée sur le couplage d'un microscope à force atomique (AFM) avec une source IR, dans le but d'effectuer de la spectroscopie et de l'imagerie IR à l'échelle nanométrique. L'intérêt majeur de cette approche est de repousser les limites de résolution qui, pour les microscopes IR classiques, sont de quelques

microns. Le microscope nanoIR2s comporte deux approches physiques différentes pour réaliser les mesures d'absorption, l'une photothermique (développée par l'équipe d'A. Dazzi, Paris-Sud) et l'autre optique. Dans les deux cas, l'idée est de sonder la surface d'un échantillon avec la pointe d'un AFM (dont l'extrémité atteint 10 nm) et d'en mesurer l'absorption locale pendant l'irradiation du rayonnement IR. Dans la première approche, dite AFMIR, la pointe AFM enregistre la dilatation locale de l'échantillon quand celui-ci chauffe en absorbant la longueur d'onde incidente. La fréquence de répétition de la source IR est accordée sur la fréquence de résonance de la pointe AFM améliorant la sensibilité de plusieurs ordres de grandeurs et permettant de mesurer des objets épais de quelques nm seulement. La seconde approche, dite SNOM, utilise la pointe comme une antenne qui va concentrer le champ électromagnétique incident et rétrodiffuser une onde porteuse de l'information chimique. Cette technologie a fait ses preuves et a déjà permis d'analyser des objets aussi petits que des assemblages protéiques (fibrilles amyloïdes) ou encore de détecter des nanoparticules à l'intérieur de cellules de macrophages. La possibilité d'obtenir un spectre vibrationnel (IR) à l'échelle nanométrique ouvre la porte à un nombre incroyable d'applications, et ce dans tous les domaines scientifiques (biologie, science des matériaux, agronomie, chimie, photonique, etc). Le système commercial fonctionne généralement avec un laser accordable qui ne permet pas de couvrir toute la gamme de l'IR et est souvent très instable en énergie. Le projet mené sur SMIS est de coupler le microscope nanoIR2s au rayonnement synchrotron, pour pouvoir réaliser des spectres IR sur une gamme qu'aucun laboratoire ne peut fournir et avoir ainsi accès à une analyse plus poussée de la matière à l'échelle nanométrique.

→ **Contact:**
alexandre.dazzi@u-psud.fr

Purification de protéines au laboratoire de biologie

Pour purifier des molécules en solution avant leur analyse sur les lignes de lumière, le Laboratoire de biologie dispose d'un système HPLC Agilent technologies avec une colonne d'exclusion stérique (séparation en fonction de la taille): l'HPLC-SEC. Cette technique est calibrée avec des protéines globulaires. Pour des molécules non globulaires, en bâtonnet ou au contraire plus compactes, le temps de rétention ne suffit pas à évaluer leur masse moléculaire avec certitude. Un détecteur de diffusion de lumière laser multi-angles (MALLS) et un réfractomètre (RI) sont à présent couplés à l'HPLC-SEC. Ils permettent d'évaluer la masse molaire de chaque molécule éluée, indépendamment du temps de rétention sur la colonne et du coefficient d'extinction molaire « théorique » (calculé pour une protéine à partir de sa séquence en acides aminés). Ce dispositif a déjà montré notamment son efficacité sur une protéine dont le profil d'éluion correspondait à un dimère, mais qui s'est avérée être un monomère. Il peut donc apporter des informations structurales essentielles et complémentaires à celles données par le SAXS ou le SRCD. Pour des molécules non uniquement peptidiques (protéines glycosylées, membranaires), l'interprétation des résultats peut être plus complexe; cette expertise est en cours d'acquisition.

→ **Contact:**
gabriel.david@synchrotron-soleil.fr

ZOOM SUR

Un anneau de stockage adapté au fonctionnement simultané des deux lignes longues

Pour permettre aux onduleurs respectifs d'ANATOMIX et NANOSCOPIUM de fournir du faisceau à ces deux lignes longues en même temps, un travail impliquant plus d'une douzaine d'équipes de SOLEIL a été réalisé.

Les deux lignes longues de SOLEIL, ANATOMIX et NANOSCOPIUM, ont comme sources de lumière deux onduleurs sous vide d'entrefer minimum $\pm 2,5$ mm qui sont installés dans une longue section droite de l'anneau de stockage. L'optique linéaire de la machine a été spécialement optimisée afin d'assurer une taille minimale verticale au centre de chaque insertion: introduction d'un triplet focalisant de quadrupôles au centre de la section et d'une chicane magnétique. Dès novembre 2011, les premiers tests ont été effectués en fermant simultanément les deux onduleurs à leur entrefer minimal. Malheureusement, des instabilités verticales et un fort dégazage ont rapidement été observés en amont du second onduleur. Après avoir retiré l'onduleur aval durant l'arrêt technique de janvier 2012, la raison de ces instabilités a été investiguée puis clairement identifiée: le faisceau de photons issu de l'onduleur amont venait chauffer la feuille protectrice de cuivre et nickel (Cu/Ni) recouvrant les aimants, la déformant pour, au final, littéralement la trouser. Une équipe projet a été formée afin d'analyser les raisons de cet incident et trouver une solution pérenne permettant de fermer simultanément les deux onduleurs à leur entrefer minimum.

La solution: un absorbeur et un contrôle plus fin du faisceau d'électrons

Il a été établi que les caractéristiques propres de SOLEIL (bras de levier lié à la distance importante séparant

les deux onduleurs, entrefers de 5,5 mm) augmentaient significativement le risque d'incident pour tout dépositionnement accidentel du faisceau dans le plan vertical: l'ajout d'un absorbeur dédié, en entrée de l'onduleur aval, s'est imposé comme une solution nécessaire, ainsi que l'introduction d'un contrôle plus fin de la position et de l'angle du faisceau d'électrons traversant l'onduleur amont. L'optimisation de l'altimétrie des aimants de l'insertion aval, et donc de la feuille de Cu/Ni les recouvrant, est un autre facteur majeur pour minimiser tout défaut local de planéité. Toute « bosse » concentrerait localement la puissance déposée, qui peut alors être multipliée par un facteur 40. Ce projet complexe a pris en compte les contraintes de fonctionnement ou de construction d'ANATOMIX et NANOSCOPIUM, mais aussi l'obligation d'intervenir pendant des arrêts techniques suffisamment longs. Dès juin 2015, une solution intermédiaire sans l'absorbeur a été mise en place (entrefer de 8 mm au lieu de 5,5 mm pour l'insertion amont) pour permettre aux deux lignes longues de travailler. Ceci a par ailleurs été accompagné d'un renforcement du contrôle de la position en ajoutant pour la première fois le contrôle de l'angle vertical du faisceau d'électrons à l'intérieur de l'onduleur amont: le système est rapide puisqu'il interrompt le faisceau en 2 millisecondes sur défaut de d'angle. La solution finale est constituée d'un nouveau type de système d'interlock rapide local (position et angle dans les deux



Figure 1 : Absorbeur dédié, installé juste en entrée de l'insertion aval, en section 13.

* XBPM : X beam position monitor

plans transverses) ainsi que d'un absorbeur de photons dédié. Cet absorbeur a pour mission principale d'éviter que des photons n'atteignent la mâchoire supérieure ou inférieure de l'onduleur aval, mais aussi un rôle de protection du double XBPM* installé en aval, sur la tête de ligne, durant l'arrêt technique de janvier 2016. La phase de mise en service de l'absorbeur et des interlocks machine, ainsi que la vérification de l'absence d'effets délétères sur le faisceau, ont été suivis d'une phase de tests de radioprotection qui se sont terminés fin mai 2016. Ce projet pluridisciplinaire a impliqué de nombreux groupes: Magnétisme et Insertions, Physique Accélérateurs, Électronique de Contrôle Acquisition, Informatique de Contrôle Acquisition, Ingénierie Mécanique, Fonctionnement Machine, Diagnostics et Synchronisation, Alignement-Métrologie, Ultravide, Sécurité, Bâtiments-Infrastructures ainsi que le personnel des lignes ANATOMIX et NANOSCOPIUM.

→ **Contact:**
laurent.nadolski@synchrotron-soleil.fr

PORTRAIT D'EXPERT

Laurent Barthe,

assistant ingénieur sur ligne de lumière



Laurent Barthe dans la cabine expérimentale de la ligne ROCK.

Quel est votre parcours ?

J'ai obtenu à Montpellier un BTS « Fluide Énergie et Environnement », qui m'a formé aux techniques du froid industriel et tertiaire. Puis j'ai souhaité me spécialiser en effectuant un DEUST en techniques du vide et cryogénie, à l'Université Paul Sabatier (Toulouse). Cette formation, devenue Licence professionnelle depuis, sensibilisait les étudiants aux opportunités offertes par les grands instruments. J'ai alors postulé auprès de plusieurs d'entre eux une fois mon diplôme en poche, en 2002, et intégré l'ESRF pour un CDD dans le groupe « Sample Environment Service ». Ce groupe répond aux demandes des équipes des lignes de lumière en termes de conception d'environnements échantillon, dans 5 domaines : cryogénie, hautes températures, hautes pressions, (ultra) vide et magnétisme. J'ai ainsi participé au montage d'environnements 'sur mesure' conçus par les ingénieurs

du groupe, surtout en cryogénie et hautes températures, domaines dans lesquels j'ai été particulièrement bien formé pendant ce CDD. Le groupe a aussi une mission de support aux lignes de lumière, je suis donc également intervenu en support des équipes de lignes lors de l'installation et mise en œuvre d'instruments du commerce, ou ceux développés par le groupe. À l'issue de ce premier contrat, j'ai candidaté à SOLEIL pour le poste d'assistant ingénieur (AI) sur la ligne SAMBA. Mon CDI a débuté en janvier 2005.

En quoi consiste votre travail ?

Après ces deux ans passés dans un synchrotron en exploitation, je suis arrivé à SOLEIL où les lignes de phase I étaient en pré-construction. C'est une expérience très différente : j'ai dû apprendre à gérer un chantier et me former à différents métiers, notamment l'optique dans la gamme des rayons X. Il faut faire preuve de

polyvalence et d'adaptabilité. Une fois SAMBA construite, je me suis consacré aux environnements échantillon de la ligne, pour la maintenance et la mise en œuvre des existants, mais assez rapidement aussi pour la conception. Cela signifie : partir des spécifications, concevoir, dessiner, faire réaliser les ensembles mécaniques, les monter puis les tester. Suivre le projet de bout en bout et voir au final son design fonctionner, c'est une belle récompense. J'ai rapidement compris que, du fait des caractéristiques de SAMBA, ce poste m'offrirait la possibilité de développer des systèmes très divers, laissant place à l'imagination technique. C'est vraiment ce qui me fait apprécier mon métier.

Même si allier la mécanique et la thermique (hautes températures) reste mon intérêt le plus fort, je conçois aussi des ensembles mécaniques plus « classiques », pour la motorisation de détecteurs par exemple : déplacer un instrument commercial au plus près de l'échantillon selon plusieurs axes, avec un ensemble de mouvements combinés et croisés.

Côté thermique uniquement, on m'a confié depuis 2005 principalement trois projets importants : le premier, finalisé en 2009, est un four pour les expériences en catalyse sur SAMBA. L'échantillon peut être chauffé à 600 °C et le four permet le couplage de techniques d'analyse (transmission X, fluorescence X, Raman) – le challenge est d'atteindre de très hautes températures malgré les multiples ouvertures nécessaires à l'installation des instruments de mesure. La réalisation mécanique

des pièces a d'ailleurs été une réalisation SOLEIL, par les tourneurs-fraiseurs de l'atelier mécanique. Cet équipement est toujours très utilisé aujourd'hui, plus de 7 ans après sa mise en fonctionnement, et plusieurs lignes l'utilisent ou l'ont utilisé, fréquemment, comme ROCK et SAMBA, mais aussi ODE ou GALAXIES.

En 2012-2013, j'ai dû concevoir un four pour des expériences en angle rasant (RELEXAFS) dédié, sur SAMBA, à la mesure d'absorption X en mode fluorescence. Il permet d'atteindre 900 °C à la position de l'échantillon, sous vide secondaire. La réalisation mécanique des pièces a une fois de plus été une réalisation de l'atelier mécanique de SOLEIL : le travail en collaboration avec nos « mécanos » fonctionne bien ! Après une phase de mise en œuvre sur la ligne pour des expériences, nous avons travaillé avec Guillaume Alizon (actuel AI de SAMBA) à améliorer son vide limite.

Enfin, le projet le plus récent a été rendu possible par un financement issu de la collaboration avec le synchrotron suédois MAX IV. Je viens de finaliser un premier prototype, en phase de qualification. Il s'agit d'un couplage de 2 systèmes distincts permettant le passage des très hautes températures (jusqu'à 1 000 °C) aux températures cryogéniques (azote gazeux cryo-refroidi), pour des expériences en catalyse sur des échantillons insérés dans des capillaires de quartz. Ces études seront également possibles en couplage de techniques (transmission, fluorescence, Raman), et le prototype sera utilisé sur ROCK et SAMBA pour commencer. Une fois le prototype validé, un exemplaire sera réalisé pour MAX IV.

La partie four est amovible pour laisser place au second environnement échantillon qui, lui, est cryogénique. La contrainte est aussi dans l'encombrement de chaque partie d'équipement, qui doit être minimisée. Petit et performant ! Ce sont à chaque fois des challenges difficiles, mais c'est

ce qui fait tout leur intérêt. En dehors de la partie conception, mes missions sont la maintenance de la ligne, c'est-à-dire veiller quotidiennement au bon fonctionnement des équipements (vide, motorisation, automatisme...), et le support et conseil technique aux utilisateurs.

Aujourd'hui, vous travaillez sur ROCK

SAMBA est une ligne d'absorption X sur laquelle a été implémenté, lors de ses premières années d'exploitation, un monochromateur quick-EXAFS original, de conception SOLEIL (Marc Ribbens). Avec cet équipement la ligne, déjà très demandée, a été victime de son succès. La responsable de SAMBA à l'époque, Valérie Briois, a alors réussi à obtenir un financement ANR dans le cadre des Projets Investissements d'Avenir (Equipex 2010) pour construire ROCK, une seconde ligne de spectroscopie d'absorption X en mode quick-EXAFS (études résolues en temps). Valérie m'a proposé de la suivre sur cette ligne et dans cette nouvelle aventure. Après un petit temps de réflexion, j'ai accepté : la perspective de recommencer l'expérience menée sur SAMBA pendant 7 ans me motivait énormément, d'autant que ROCK offre les mêmes potentialités de développements d'environnements échantillon que SAMBA.

Pendant 18 mois j'ai géré en parallèle mes missions sur les deux lignes, puis le relais avec Guillaume Alizon a été fait. Je travaille depuis septembre 2013 à 100 % sur ROCK, avec un plaisir décuplé par le bénéfice de l'expérience acquise : une vision plus claire des tâches à effectuer, et une facilité de la prise de décision et d'initiative. Nous avons accueilli les premiers utilisateurs en mars 2015.

J'ai beaucoup de chance d'avoir pu participer à la construction et la mise en œuvre non pas d'une, mais de deux lignes de lumière, avec le même succès. La qualité de l'entente qui règne dans les équipes, aussi bien de SAMBA que de ROCK, est l'un des facteurs de ces réussites.

Et vous occupez également la fonction de délégué de cluster. De quoi s'agit-il ?

Une réflexion a été menée au niveau de la Direction afin d'optimiser l'organisation de SOLEIL pour répondre à son évolution, 10 ans après le début de sa construction. Aujourd'hui cela se traduit notamment, au sein de la Division Expériences, par le regroupement des laboratoires supports ou des lignes de lumière selon 6 « clusters », en fonction des techniques d'analyse mises en œuvre sur les lignes. Le délégué a alors un rôle d'interface entre les équipes des lignes (ou laboratoires support) d'un cluster, la Direction Scientifique, et la Direction Accélérateur et Ingénierie. J'ai fait partie du groupe de travail qui a participé à la réflexion sur l'organisation de SOLEIL et ensuite, sur sollicitation des collègues de mon cluster, j'ai accepté le rôle de délégué. Ce cluster, très fortement axé spectroscopie X – mais pas uniquement – rassemble 6 lignes de lumière dont deux que je connais bien : ROCK et SAMBA... Nous en sommes au tout début de cette nouvelle organisation, et je commence juste mes fonctions de délégué.

Un regard en arrière sur ces bientôt 12 années à SOLEIL ?

Elles ont filé si vite, sans même que je m'en rende compte. Cela montre bien que je n'ai jamais eu l'occasion de m'ennuyer. Et il faut dire aussi qu'un phénomène étrange se produit à SOLEIL : les thésards se succèdent, mais ils ont toujours le même âge... Comment voulez-vous que je réalise que le temps passe ?!

➔ Contact :

laurent.barthe@synchrotron-soleil.fr

POINT FORT

SOS lignes de lumière :

les coordinateurs de hall à votre écoute...

Ils sont six et, pendant les périodes de faisceau délivrées aux lignes de lumière, travaillent en trois-huit, six jours sur sept. Leur mission : répondre aux équipes de lignes et aux utilisateurs qui rencontrent un problème pendant leur temps d'expérience à SOLEIL. Le numéro de téléphone à retenir : 9797 !



L'équipe des 6 coordinateurs de hall, de gauche à droite : Didier Trévarin, Julien Pinon, Bruno Cortès, Rodney Redman, Philippe Maugan et Michel Dot, encadrent leur responsable, Pascale Prigent.

Analyse, diagnostic, puis prise de décision : dépannage s'il le peut, ou bien demande d'aide auprès du scientifique de ligne « local contact » de l'expérience ou du groupe support de SOLEIL qui convient. Lorsque le problème technique dépasse ses compétences, le coordinateur de hall fait ainsi le lien entre l'utilisateur et les personnes-ressources appropriées, il est « l'aiguilleur » qui sait où adresser efficacement les requêtes. Cela nécessite donc de posséder une vision globale du fonctionnement des équipements situés sur les lignes de lumière, et des connaissances techniques larges et diverses : Mécanique, électronique, technique instrumentale, vide, cryogénie, infrastructure, robotique, utilisation des outils informatiques... difficile de trouver plus varié que les domaines dans lesquels intervient le coordinateur de hall. Curiosité et envie d'apprendre sont donc de mise, car il y aura toujours de nouvelles choses à découvrir et apprendre, quelle que soit sa formation initiale. Les coordinateurs ont une formation ou expérience de plusieurs années dans des spécialités différentes recouvrant la gamme d'instruments utilisés sur les lignes ; c'est pourquoi chacun a ses points forts, qui dépendent de son expérience passée et se forme à SOLEIL sur les autres techniques qu'il ne connaît pas bien pour assurer une polyvalence dans le dépannage. Ils ont également une forte expérience en maintenance et installation d'équipements sur site en France ou à l'étranger. La polyvalence est requise : tous doivent être capables d'intervenir quelle que soit la raison de l'appel lorsque c'est à leur tour d'être en poste. C'est-à-dire le matin (6h30-15h), l'après-midi (14h30-23h) ou de nuit (22h30-7h), semaine ou week-ends. Il y a donc une demi-heure de passage de relais à

leur collègue qui les remplace, pour transmettre les différentes informations du « shift » écoulé. Réaliser le planning de l'équipe est un vrai casse-tête, que résout Philippe pour chaque période de faisceau. Il faut trouver pour les six coordinateurs l'équilibre des horaires respectant les 11 heures minimales de temps de récupération entre deux postes, sans dépasser 40 heures en moyenne par semaine sur l'ensemble d'un run et en essayant d'alterner dans la semaine les périodes de présence (nuit/matin...). Un exercice compliqué dont le succès repose beaucoup sur la flexibilité et l'adaptabilité de tous. Il est très important de pouvoir compter sur les collègues, en cas de contraintes personnelles notamment, pour « arranger » le planning. Autrement dit : sans doute encore plus qu'ailleurs, la bonne entente au sein du groupe est primordiale.

Technique et psychologie...

Le coordinateur de hall se doit d'être réactif en cas de problème mais sans se précipiter : il lui faut prendre le recul nécessaire pour évaluer correctement la situation, y compris face à un scientifique qui peut être en plein stress devant son expérience bloquée. Autant dire qu'un sens développé du contact et du service, doublé d'un calme à (presque) toute épreuve sont des atouts indispensables dans ce métier. La mise en place, avec l'équipe des lignes ou les groupes supports, de procédures sur certains équipements permet de simplifier et d'accélérer les interventions des coordinateurs. Les 29 lignes de lumière ont été réparties entre eux, mais chacun connaît pour les lignes les dispositifs sur lesquels il peut, ou non, intervenir et comment, quels sont les « points faibles » où une panne est plus susceptible de se produire, etc. Des robots passeurs

de cristaux des lignes PROXIMA au compresseur d'hélium pour refroidir l'aimant de DEIMOS, en passant par le laser utilisé pour le dispositif de FemtoSlicing, ils ont été formés pour savoir comment réagir et que faire en cas d'incident. Et il était logique que les coordinateurs prennent part à la réflexion menée sur la supervision informatique des lignes (« Global Screen ») : même s'ils doivent et savent s'adapter, il leur est forcément plus facile et rapide d'identifier un problème si les systèmes de supervision sont uniformes et standardisés d'une ligne de lumière à l'autre. Toute cette somme d'informations et de connaissances, ainsi que les comptes rendus de leurs interventions, sont bien sûr transmises aux collègues du groupe, notamment via un e-log et un wiki réservés.

Et à ces multiples interventions techniques s'ajoute un aspect Sécurité. Lors de l'attribution du temps de faisceau, toute expérience est évaluée par le groupe Sécurité de SOLEIL en fonction de son degré de dangerosité (classement vert/jaune/rouge) et, pour chacune, un document - Safety approval shift, SAS - est déposé sur la ligne correspondante le premier jour d'expérience, pour avertir les scientifiques des risques potentiels. Depuis quelques années ce sont les coordinateurs qui distribuent les SAS verts, jaunes et rouges. Le groupe Sécurité restant en charge de toutes les explications liées aux SAS rouges et jaunes. Étant souvent les premiers à intervenir lorsqu'un problème est signalé sur une ligne, il est particulièrement important que les coordinateurs soient informés en amont des risques que présentent les différentes 'manips' en cours. Ils ont, par ailleurs, tous suivi la formation de Sauveteur secouristes du Travail. À vrai dire, les utilisateurs ont maintenant si bien intégré le fait qu'ils sont les

personnes à contacter en cas d'incident, qu'ils sont parfois appelés lors de problèmes qui sont du ressort du groupe Sécurité.

Un savoir transverse

Les coordinateurs font en sorte de maintenir une connaissance large et sans cesse actualisée de « la santé » des lignes; leurs interventions sont une bonne façon de la mettre à jour, mais mieux vaut prévenir que guérir. C'est pourquoi ils partagent régulièrement des informations avec plusieurs groupes supports de SOLEIL, lors de réunions qu'il faut arriver à planifier malgré la complexité de leurs emplois du temps et les possibles interruptions pour cause d'appel.

Autre lieu où se fait également cette mise en commun des informations: les réunions de clusters, ces regroupements de laboratoires supports et de lignes de lumière qui structurent la Division Expériences depuis la réorganisation des groupes pour répondre à l'évolution de SOLEIL (cf. page 15). Les coordinateurs font en sorte que l'un d'eux soit toujours présent aux réunions des six clusters. C'est

l'occasion d'apprendre si des développements techniques, de nouvelle instrumentation sont prévus, et pourquoi pas d'envisager un travail commun avec les assistants ingénieurs sur ces projets.

Autre mission: ils ont en charge l'atelier de mécanique, situé dans le synchrotron, où sont réalisés des dépannages, des ajustements, ou de la petite mécanique, très souvent nécessaires aux lignes mais qui ne relèvent pas du groupe d'ingénierie mécanique. Les équipements (fraiseuse, tour, perceuse à colonne) ne sont utilisables que par le personnel formé et autorisé - incluant trois coordinateurs. Un second atelier avec une partie électronique leur permet de faire de petites réparations en électronique, avec un matériel indépendant de celui du groupe Electronique de Contrôle et Acquisition. Un laboratoire bien utile lorsqu'il a fallu par exemple intervenir sur le système laser du FemtoSlicing ou des réparations sur les lignes de lumière.

Enfin, ils gèrent aussi les stocks de certaines pièces de rechange spécifiques, non fournies par les

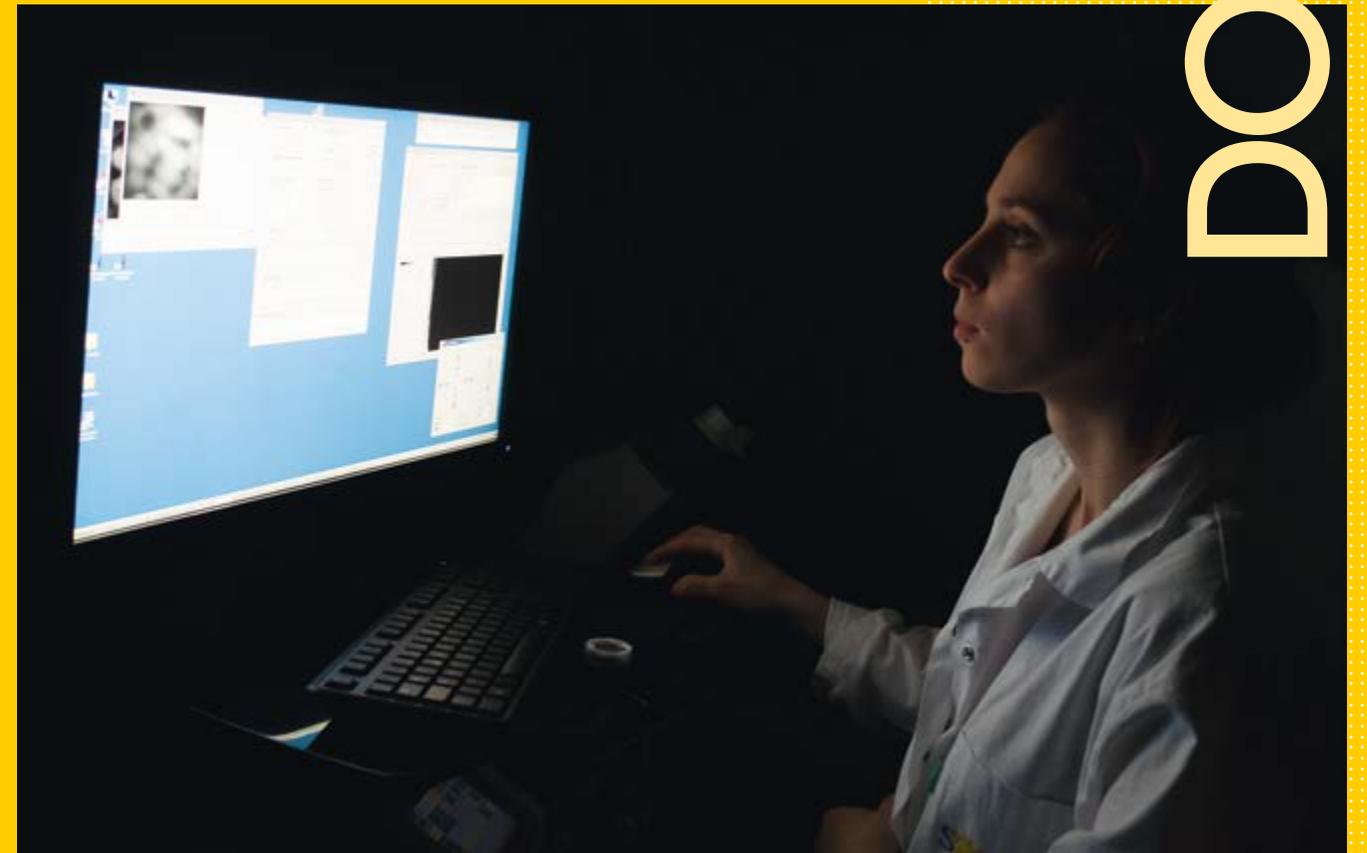
autres groupes support: cartes XPS de diffractomètre, codeurs de monochromateurs, câbles informatiques de différentes longueurs, fusibles, connecteurs spécifiques, pièces de rechange des cryo-systèmes...

Victimes de leur succès

Coordinateur de hall est donc un métier exigeant, en termes de rythme de travail et de veille technique: leur polyvalence doit aller de pair avec curiosité et une envie de toujours apprendre des choses nouvelles. Conséquence: les utilisateurs sont souvent positivement surpris du degré de compétence des six membres du groupe, joignables soir, nuit et week-ends. Si bien qu'une mise au point a dû être faite: non, ils ne vont pas jeter un œil sur votre expérience une fois qu'elle est lancée, même si normalement il n'y aura pas besoin d'intervenir, ni réparer votre douche si vous êtes à la maison d'hôtes de SOLEIL!

→ **Contact:**
pascale.prigent@synchrotron-soleil.fr

Imageries 2 et 3 dimensions



L'Homme a très tôt voulu avoir accès à ce que ses yeux seuls ne pouvaient voir. Vers l'infiniment petit, grâce aux lentilles, loupes puis aux tout premiers microscopes à la fin du XVI^e siècle, jusqu'aux microscopes électroniques à transmission actuels, les images obtenues ont gagné au cours des temps un bon nombre d'ordres de grandeur en termes de résolution. Celle-ci atteint aujourd'hui une centaine de picomètres (10^{-12} m), permettant de distinguer par exemple deux atomes de carbone dans un diamant.

Sur les 29 lignes de lumière de SOLEIL, près de la moitié mettent en œuvre des techniques d'imagerie, et cette proportion va encore augmenter dans les années à venir.



HERMES

Tisser des mémoires magnétiques 3D à l'aide de nanofils

Ces dernières années ont connu une demande quasi exponentielle de dispositifs à haute capacité de stockage de l'information. Toutefois cette demande n'est plus limitée à la capacité de stockage. La vitesse d'accès, l'endurance, la volatilité, l'énergie nécessaire pour l'écriture/lecture d'un bit et le coût par bit... sont devenus des défis technologiques aussi, voire plus, importants que la capacité de stockage. Dans le cadre d'un projet européen (M3D), plusieurs laboratoires européens sont impliqués dans le développement de matériaux magnétiques pour le stockage de masse non volatile, avec comme objectif d'optimiser la densité d'information tout en réduisant le coût par bit. L'approche originale du projet consiste à développer des mémoires magnétiques 3D en utilisant des nanofils magnétiques. Une série de bits serait déplacée le long des fils magnétiques verticaux denses disposés en réseau, ce qui ne nécessite qu'un seul élément de lecture/écriture par fil. Comprendre les propriétés magnétiques dans un nanofil magnétique unique est une première étape obligatoire vers la conception de tels dispositifs. Des mesures XPEEM de nanotubes magnétiques ont récemment été effectuées sur HERMES. À la connaissance des scientifiques impliqués, c'est la première observation directe d'une structure en domaine dans des nanotubes. Cependant, contrairement aux prédictions, une aimantation orthoradiale avec plusieurs domaines bien définis a été mise en évidence. Ces tubes à aimantation orthoradiale sont

attrayants pour les mémoires de type race-track 3D, car leurs parois de domaines donnent lieu à un très petit champ dipolaire, contrairement au cas des nanofils. Ceci permet d'éviter les limitations liées au cross-talk (interaction magnétique mutuelle entre les nanotubes) en dépit de la forte densité de la matrice de nanotubes.

→ **Contacts:**
rachid.belkhou@synchrotron-soleil.fr;
olivier.fruchart@cea.fr

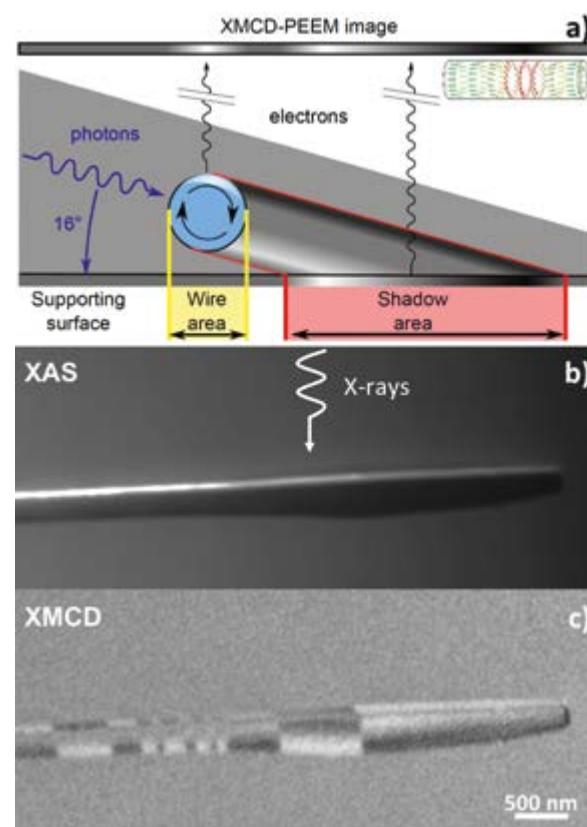


Figure 1 : Image XPEEM à haute résolution de nanotube CoNi. a) Schéma de principe de la géométrie de mesures XMCD exploitant l'effet d'ombrage, lié à la faible incidence du faisceau X (16°). Cet effet permet de résoudre la structure en domaine, en surface et en volume. L'analyse de l'anisotropie de l'intensité de la partie ombrée en fonction de la polarisation circulaire de la lumière permet d'obtenir des informations sur la distribution en volume des domaines magnétiques. b) Image XAS-XPEEM mesurée au seuil L3 du nickel. La région claire correspond au nanotube, tandis que la région sombre représente l'ombre portée du nanotube. c) Image XMCD-XPEEM mesurée au seuil L3 du nickel, mettant en évidence la contribution en surface et en volume des domaines magnétiques tridimensionnels dans le nanotube.

Les techniques de microscopie qui permettent d'obtenir les résolutions les plus élevées n'utilisent pas la lumière visible, comme c'est le cas avec la microscopie optique, mais d'autres gammes de rayonnement électromagnétique, ou encore des électrons. D'autre part, les images ne se forment plus directement sur l'œil de l'expérimentateur: pour pouvoir être interprétables elles sont d'abord « reconstruites », en une ou plusieurs étapes, à partir de signaux enregistrés par des détecteurs qui ne sont plus les yeux. Il existe ainsi différentes sortes d'imageries, en fonction du type de rayonnement employé et

de l'interaction entre ce rayonnement et l'objet étudié: absorption, émission, diffraction... Si, en termes de résolution d'images, la microscopie électronique reste pour l'heure imbattable, les techniques synchrotron font de grands progrès en permettant d'atteindre quelques dizaines de nanomètres de résolution, et elles ont pour atout d'offrir des informations complémentaires qui résultent de l'interaction rayonnement/matière.

¹Résolution : distance minimale entre deux points contigus pour qu'ils soient correctement discernés par un système de mesure ou d'observation.

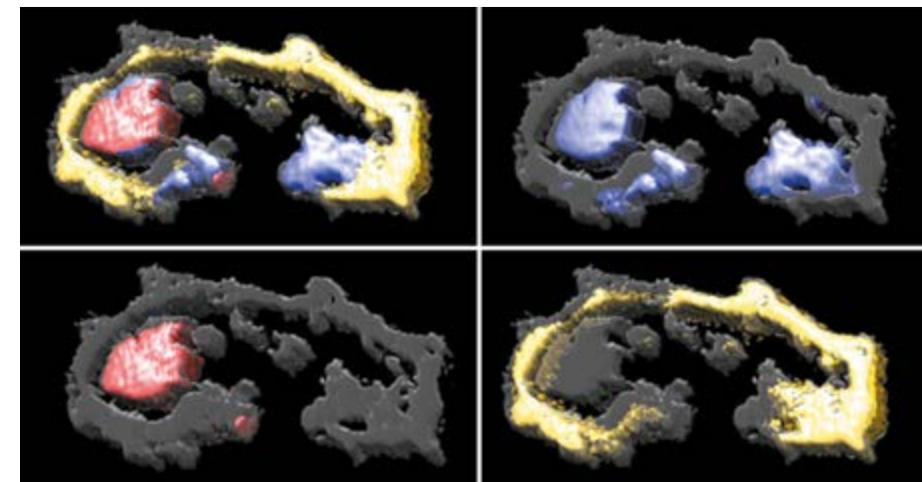
NANOSCOPIUM

MMX-I : un logiciel pour l'imagerie X multimodale

La technique de microscopie en rayons X durs par balayage permet l'acquisition de données multimodales, c'est-à-dire d'images dont chaque pixel contient plusieurs types de données. On peut, par exemple, utiliser cette technique pour réaliser la cartographie d'un échantillon en contrastes d'absorption, de phase, de champs sombre et en fluorescence X en un seul balayage. Les informations obtenues permettent de déterminer à la fois la structure et la composition chimique des échantillons.

L'association de cette technique avec l'infrastructure d'acquisition rapide FLYSCAN, développée à SOLEIL [1] permet de proposer aux futurs utilisateurs de la ligne de lumière longue (155 mètres) NANOSCOPIUM [2] la possibilité d'aller encore plus loin et de faire des acquisitions tomographiques multimodales. Les acquisitions tomographiques permettent, après un traitement informatique, de reconstruire en 3D la structure interne de l'échantillon observé. Elles consistent à prendre des images de l'échantillon sous différentes orientations. Un des challenges de ces techniques d'imagerie est le traitement en ligne et l'analyse de l'énorme quantité de données multimodales générées par l'acquisition. Ceci est particulièrement critique pour la large communauté d'utilisateurs (biologie, science de la vie, géologie, géobiologie...) de la ligne NANOSCOPIUM, qui n'a pas nécessairement l'expérience de la manipulation de grands jeux de données.

MMX-I pour « Multi-Modal X-ray Imaging » est le premier logiciel libre et open-source dédié au traitement et à la reconstruction des données d'imagerie X multimodales et de tomographie [3]. C'est un outil multiplateforme (Mac, Windows ou Linux 64bit) simple à installer, complet, extensible, intuitif et « user friendly ». MMX-I implémente des méthodes de réduction et correction des données brutes et des techniques de



reconstruction 2D/3D qualitative et quantitative. Un des points forts du logiciel est son algorithme de lecture des grands jeux de données (plusieurs centaines de giga-octets) obtenus typiquement pendant une acquisition multi techniques sur NANOSCOPIUM. Cet algorithme, apparenté à un système de « streaming », permet de lire de manière efficace les données que ce soit sur un serveur de calcul ou sur un ordinateur standard.

Le projet MMX-I offre ainsi la possibilité aux utilisateurs experts ou débutants de traiter leurs données brutes soit directement sur la ligne NANOSCOPIUM soit sur leur ordinateur personnel. Les utilisateurs les plus expérimentés et sachant programmer peuvent également intégrer MMX-I comme librairie de calcul dans un logiciel existant, ou implémenter de nouvelles fonctionnalités qui seront alors disponibles pour le reste de la communauté.

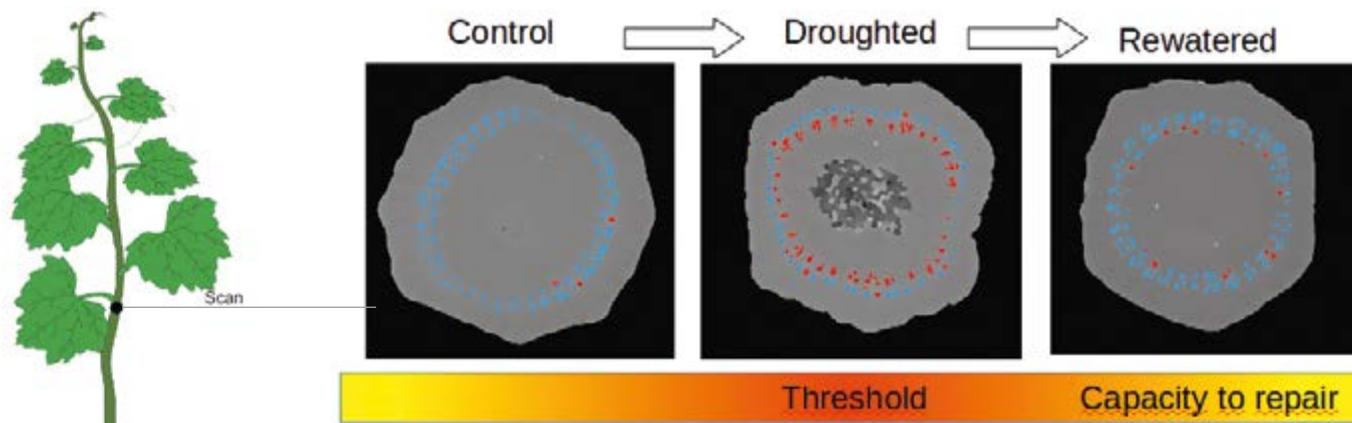
MMX-I est disponible sur internet à l'adresse suivante: <https://bitbucket.org/antoinebergamaschi/mmx-i>

→ **Contacts:**
antoine.bergamaschi@synchrotron-soleil.fr;
kadda.medjoubi@synchrotron-soleil.fr

Figure 1 : Rendu volumique d'un fossile de foraminifère. La tomographie associée au balayage multi techniques permet de visualiser les informations structurales et chimiques de cet échantillon. Ces informations permettent l'étude de la bio-minéralisation des métaux lourds chez les foraminifères. Les différentes modalités ont été reconstruites avec le logiciel MMX-I développé sur la ligne NANOSCOPIUM. La phase reconstruite est représentée en gris dans la figure, le champ sombre en bleu, la distribution du fer en rouge et celle du calcium en jaune.

Références :
[1] K. Medjoubi *et al.* In X-Ray Nanoimaging: Instruments and Methods, (2013/09/26), Proc. SPIE 8851:88510P, San Diego, California, United States. doi:10.1117/12.2026680.
[2] A. Somogyi *et al.* Journal of Synchrotron Radiation (2015) 22, 1118.
[3] A. Bergamaschi *et al.*, Journal of Synchrotron Radiation (2016) 23, 783.

PSICHE
Embolie des plantes et résistance à la sécheresse



La mortalité des plantes soumises à des événements de sécheresse extrême a récemment été associée à la vulnérabilité des plantes à la cavitation du xylème, un phénomène qui correspond au dérèglement du transport d'eau dans les vaisseaux embolisés. Malgré les progrès récents réalisés en hydraulique végétale, il existe encore un débat pour savoir si les plantes subissent des embolies fréquentes puis se rétablissent, ou si elles sont hautement résistantes à l'embolie. Certaines études ont suggéré que les plantes seraient hautement vulnérables à l'embolie mais se rétabliraient quotidiennement. Dans les branches ainsi que dans les feuilles, ce rétablissement consisterait à re-remplir les vaisseaux pendant la journée ou sous l'action de la poussée racinaire. Cependant, ce processus a seulement été observé chez les espèces à vaisseaux longs telles que le laurier, le peuplier et la vigne, ce qui peut indiquer des problèmes méthodologiques biaisant les mesures conventionnelles effectuées au laboratoire.

La micro-tomographie par synchrotron est utilisée pour étudier la formation et la diffusion de l'embolie induite par la sécheresse dans le xylème de plantes intactes, et tester l'hypothèse selon laquelle les plantes seraient ainsi régulièrement soumises à de hauts niveaux d'embolie même lorsqu'elles ne sont pas en stress hydrique.

Lors de leur première campagne SOLEIL en 2015 [1], des chercheurs de BIOGECO (INRA - Université de Bordeaux) ont démontré pour la première fois que la tomographie aux rayons X, une méthode non invasive permettait l'observation directe d'éléments conducteurs remplis d'air et de sève dans le xylème des plantes, pour l'évaluation non biaisée de l'adaptation des plantes à la sécheresse. Leurs observations directes des vaisseaux ont démontré la capacité remarquable des espèces à vaisseaux longs tels que le chêne à résister à l'embolie. En 2016, ils ont d'autre part observé que les vaisseaux du xylème

dans des conditions physico-chimiques identiques, avec un faisceau X qui peut être micronique (10 x 10 µm²). Dans le cas de matériaux complexes, les cartographies à résolution modérée ainsi obtenues mettent en évidence les inhomogénéités de l'échantillon - pour les matériaux anciens, par exemple, mais aussi dans le domaine médical. Les mesures peuvent par ailleurs être réalisées sous contrainte, pour une étude du comportement mécanique de l'échantillon en conditions extrêmes de température - domaine d'excellence de la ligne - et pression. LUCIA dispose quant à elle d'un microfaisceau plus focalisé (2,5 x 2,5 µm²) pour des cartographies en absorption et fluorescence X à plus basse énergie que DIFFABS - d'où une complémentarité entre les deux lignes pour la cartographie chimique d'objets hétérogènes.

... Suite de la page 20

Par ailleurs, dans le cas des imageries basées sur le rayonnement électromagnétique, un synchrotron offre tout naturellement la plus grande variété de techniques, de par l'étendue du spectre de photons et la diversité des dispositifs d'analyse de la matière disponibles. Ainsi, à SOLEIL il est possible de parcourir les différentes échelles de taille de la matière, du micron au nanomètre, et d'obtenir des informations complémentaires aux données « topographiques » données par un microscope: propriétés magnétiques, électroniques ou composition chimique par exemple.

Dès les débuts de SOLEIL

Depuis 2007, DIFFABS permet de combiner des analyses en diffraction et absorption X haute énergie, sur la même zone de l'échantillon et

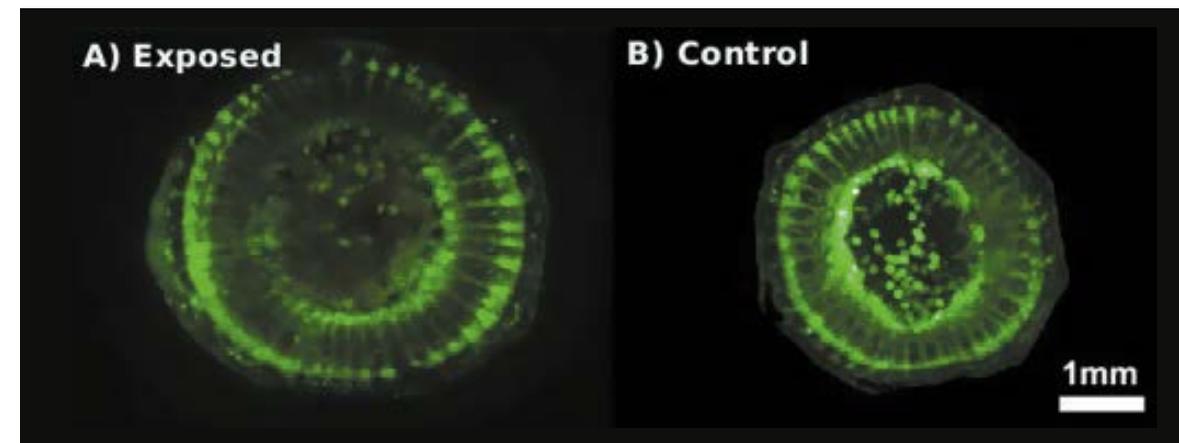


Figure 2. Coupe transversale de la tige supérieure d'une plante de vigne scannée par micro-CT. Cette coupe a été réalisée 10 jours après le scan. Les cellules fluorescentes en vert représentent des cellules vivantes, qui étaient légèrement plus prononcées dans l'image témoin (B) que dans la zone exposée au faisceau de rayons X (A). Barre blanche = échelle de 1 mm [2].

pouvaient être réparés plusieurs heures après le ré-arrosage de la plante (figure 1). Toutefois, ce re-remplissage des vaisseaux a été uniquement observé lorsque la pression dans le xylème était positive (poussée racinaire). Les chercheurs ont aussi démontré que la plupart des cellules vivantes restaient en vie (Figure 2) 10 jours après le scan. Une partie de l'activité de la ligne de lumière PSICHE est consacrée à la tomographie et à l'imagerie pour un grand nombre d'applications telles que l'exemple présenté. La source synchrotron, qui émet un flux de rayons X très intense, est beaucoup plus brillante qu'un tomographe médical ou de laboratoire. Cette méthode peut être utilisée pour réaliser des mesures très rapides afin d'étudier des phénomènes résolus en temps tels que la fissuration ou la déformation en génie des matériaux. Autrement, un monochromateur peut être utilisé pour sélectionner une seule longueur d'onde du faisceau afin d'étudier des échantillons

déliçats (tels que ces plantes vivantes) qui seraient endommagés par le flux intense. Les mesures sont néanmoins beaucoup plus rapides qu'en laboratoire, avec seulement 90 secondes pour une acquisition 3D complète. Ceci permet aux chercheurs d'étudier un grand nombre d'échantillons en une semaine d'utilisation du faisceau.

→ **Contacts:**
sylvain.delzon@u-bordeaux.fr
andrew.king@synchrotron-soleil.fr

Références :
1-B. Choat *et al.* Plant Physiology (2016) 170, 273.
2- G. Charrier *et al.* Plant Physiology (2016) 172, 1657.

Les premiers résultats en imagerie magnétique résolue en temps à SOLEIL ont été obtenus par spectroscopie de photoémission d'électrons et d'absorption en rayons X mous sur TEMPO, autre ligne opérationnelle dès 2007. Les travaux ont été effectués en collaboration avec l'Institut Néel de Grenoble. [2] Avec l'installation de nouveaux microscopes, TEMPO s'est concentré sur la prise en compte de la variable temporelle des mesures effectuées. Elle permet par exemple la détermination des cinétiques de réaction en surface ou aux interfaces, ou encore des mesures de dynamique de l'aimantation dans les matériaux magnétiques. Des résultats d'imagerie en photoémission ont aussi été obtenus, toujours sur la deuxième branche de TEMPO, en utilisant le microscope des laboratoires IRAMIS et LETI du CEA.

[2] Reflets de la Physique (2013), 34-35, p38-42.

Dans les basses énergies

Quelle que soit la gamme de longueur d'ondes, il existe à SOLEIL au moins une ligne de lumière en imagerie. Dans les infrarouges (IR),

SMIS couple spectroscopie d'absorption à transformée de Fourier (FTIR) et microscopie. Depuis bientôt 10 ans la ligne permet la réalisation à une résolution de quelques microns de cartographies chimiques de composés variés: films de polymères, inclusions minérales, matériaux d'intérêt biologique et biomédical, ou archéologique, notamment. Mais, nouveauté, SMIS vient de s'équiper d'une station dite « nanoIR » qui fournit une analyse chimique des échantillons jusqu'à quelques dizaines de nanomètres de résolution spatiale, soit une amélioration de trois ordres de grandeur par rapport à la micro-spectroscopie IR classique. Le faisceau IR illumine l'échantillon par le haut. Deux modalités d'analyse, dites AFMIR et SNOM, sont alors offertes; cf. page 12 pour plus d'informations.

Actuellement le nanoIR fonctionne avec une source laser IR pulsée, mais le couplage avec une source laser large-bande (accès au domaine des vibrations d'élongation C-H, O-H et N-H) et avec la source synchrotron (accès à l'ensemble du domaine moyen IR), est en cours. Autre gamme d'énergie, les ultraviolets: l'une des trois branches de la ligne DISCO est une station d'imagerie de fluorescence UV dédiée aux études en biologie (cellules vivantes) et en science des matériaux.

Suite page 24...

SMIS Imagerie et spectro-tomographie infrarouge

L'équipe de la ligne SMIS développe depuis de nombreuses années une fructueuse collaboration avec des chercheurs de l'IAS (Institut d'Astrophysique Spatiale d'Orsay) pour l'analyse par micro-spectroscopies IR et Raman de petites poussières extraterrestres issues d'objets primitifs (astéroïdes, comètes ; cf. Rayon de SOLEIL n°18, p.4). Cela permet d'améliorer nos connaissances sur les débuts de notre système Solaire et sur l'évolution de ces matériaux dans différents environnements astrophysiques : de la nébuleuse primitive, en passant par les processus d'accrétion et incorporation dans les planétésimaux, jusqu'aux altérations de surface d'astéroïdes et comètes et les apports en matériaux volatils aux planètes telluriques.

Récemment a été installé sur SMIS un nouveau microscope-imageur FTIR équipé d'un détecteur matriciel de type Focal Plane Array avec 128x128 pixels, qui permet d'obtenir simultanément un très grand nombre de spectres sur des surfaces allant de plusieurs centimètres à quelques microns. La rapidité de ce type de détecteurs permet aussi de développer une nouvelle méthode d'analyse : la micro-tomographie tridimensionnelle FTIR. Cette technique, qui a été développée en 2013 au Synchrotron Radiation Centre à Madison (USA) par M. C. Martin et ses collaborateurs, est maintenant en cours d'implémentation sur la ligne SMIS. De premières analyses ont été effectuées sur des grains de la météorite carbonée « Paris », montés sur des pointes FIB.

Les résultats montrent la distribution en 3D des différentes phases de ces grains, qui sont très hétérogènes en composition. Des analyses

complémentaires ont été effectuées en tomographie X sur la ligne PSICHE. Le couplage des deux techniques permet d'élucider à petite échelle les relations entre les matériaux organiques et les minéraux, ce qui est fondamental pour comprendre l'origine et l'évolution de la matière organique dans les différentes phases de formation de notre système planétaire. Ces analyses constituent la phase initiale d'un protocole de mesures, allant des techniques analytiques les moins destructives aux plus destructives, visant à caractériser dans leur ensemble les propriétés des échantillons, en vue des prochaines missions spatiales de retour d'échantillon (Hayabusa 2, JAXA, et OSIRIS-REx NASA).

L'objectif est de développer et exploiter une large activité d'analyses par micro-tomographie tridimensionnelle FTIR de différents matériaux d'origine extraterrestre par les chercheurs de l'IAS, et d'autres échantillons (biologiques, médicaux, du patrimoine, de la physique des matériaux, etc.) par les scientifiques et les autres utilisateurs de la ligne SMIS. Cette méthode analytique constitue une avancée technologique majeure qui permettra de caractériser à une échelle encore jamais atteinte et de façon non-destructive la composition de ces matériaux.

L'instrument sera également disponible pour l'imagerie 2D spectroscopie IR de grande surface. Le couplage avec la source synchrotron est en cours et il est prévu que l'instrument soit ouvert pour les appels à projets du deuxième semestre 2017.

→ **Contacts :**
rosario.brunetto@ias.upsud.fr
ferenc.borondics@synchrotron-soleil.fr

dans l'espace réciproque. Depuis 2011 la ligne ANTARES dispose d'un microscope Nano-ARPES, capable d'effectuer – avec une résolution spatiale de quelques dizaines de nanomètres – l'imagerie des propriétés électroniques de systèmes proches des dispositifs utilisés pour des applications pour l'électronique du futur, et l'ingénierie quantique. Un peu plus haut en énergie, HERMES est une autre ligne de spectromicroscopie. Elle possède deux équipements : pour la microscopie d'émission des photoélectrons (PEEM), technique qui – par rapport à l'ARPES – conserve la proéminence spatiale des photoélectrons, et pour la microscopie X à transmission par balayage (STXM).

[3] - D. Bazin *et al.*, Comptes Rendus Chimie (2016) 19, 1439.

[4] - S. Kaščíková *et al.*, Nano Research (2015) 8, 2373.

[5] - L. Štefančíková *et al.*, Cancer Nanotechnology (2014), 5, art.n° 1.

Entre autres applications, grâce à une résolution spatiale de quelques dizaines de nm, les domaines magnétiques sont imagés physiquement et il devient possible de manipuler des bits magnétiques au sein d'une structure magnétique.

Une autre technique d'imagerie magnétique est mise en œuvre à SOLEIL, sur SEXTANTS : l'holographie X par transformée de Fourier, à une résolution spatiale de quelques nanomètres – limitée par la longueur d'onde des rayons X. L'équipe de la ligne a montré que des rayons X polarisés linéairement pouvaient être utilisés pour imager les domaines magnétiques dans des couches minces, généralement étudiés en polarisation circulaire. Cette technique utilise pleinement les caractéristiques du rayonnement synchrotron X : grande intensité et impulsions courtes (pour la résolution temporelle), accordabilité en énergie et en polarisation (pour une sélectivité chimique et une sensibilité magnétique) et degré de cohérence élevé (pour un grand champ de vue).

La ligne CRISTAL est dédiée à l'étude par diffraction X de poudres et de (mono)cristaux non biologiques. La ligne donne accès à la structure atomique de cristaux par mesure de l'intensité des pics de diffraction (réflexions de Bragg). La cohérence du faisceau de rayons X est également mise à profit : la modification de la forme des pics de Bragg est liée à la forme du cristal diffractant et aux déformations du cristal dues aux contraintes imposées par leur environnement (diffraction cohérente, ptychographie de Bragg). Et, comme TEMPO, CRISTAL possède l'atout supplémentaire de la dimension temporelle avec la diffraction en temps résolu avec, depuis septembre 2016, les premières expériences pompe (IR)-sonde (RX) utilisant le slicing pour une résolution temporelle de l'ordre de 200 fs (10^{-15} s).

Et en volume

Quatre lignes proposent, ou proposeront bientôt, des dispositifs de tomographie et/ou d'imagerie à balayage par diffraction cohérente (ptychographie), en plus des analyses réalisées en 2D. En tomographie, comme avec un scanner médical mais avec une résolution spatiale bien meilleure, l'échantillon, placé sur une table de rotation, est éclairé par les rayons X et une image en projection (radiographie) est formée sur un détecteur placé en aval. Pendant la rotation de l'objet sur 180°, il est ainsi radiographié sous tous les angles de vue. Un calcul permet ensuite de reconstruire la structure 3D de l'objet à partir de toutes ces images en projection. Cette technique non-destructive permet ainsi de voir l'intérieur de l'échantillon sans le découper, grâce aux RX, mais également d'étudier l'évolution des échantillons avec le temps, par exemple sous contrainte.

La grande brillance et la cohérence spatiale partielle du rayonnement synchrotron permettent de mettre en œuvre la technique de contraste de phase, plus sensible que la technique d'absorption utilisée classiquement en radiographie. Après avoir traversé l'échantillon, les ondes électromagnétiques se déphasent, créant un phénomène d'interférence observable par le détecteur s'il est placé à une distance optimisant ce contraste. On peut ainsi mettre en évidence de faibles variations de la densité de l'échantillon, et étudier en détails des objets micro, voire nanométriques, selon la ligne de lumière.

Enfin, en ptychographie, la reconstruction 3D est cette fois issue de la « compilation » de centaines de milliers d'images de diffraction de l'échantillon : pour chaque orientation de celui-ci, plusieurs centaines de diagrammes sont enregistrés, qui permettent de reconstruire l'image 2D de chacune de projections (orientations de l'échantillon). L'ensemble des images 2D sert ensuite à la reconstruction finale en 3D, une procédure nécessitant la mise en œuvre d'algorithmes particulièrement puissants.

PSICHÉ dispose des 2 premiers types d'expériences, en mode monochromatique ou en mode faisceau rose. De plus elle permet de coupler des expériences de diffraction aux expériences de tomographie. Particulièrement adaptée aux mesures *in situ*, PSICHE est optimisée pour les expériences en science des matériaux : matériaux composites ou structurés, batteries, études sur la corrosion, la fatigue, la déformation...

En 2017 la ligne PUMA, dédiée à l'étude des matériaux anciens, disposera d'une station de spectro-microscopie X durs (imagerie 2D et microanalyses ponctuelles), et d'une station de micro-tomographie X durs par contraste de phase ; toutes deux visent une résolution de l'ordre du micromètre. PUMA est l'une des 3 lignes longues de SOLEIL. Cette longueur a été définie pour avoir une cohérence suffisante du faisceau de RX (grande distance entre point source des RX et point d'interaction RX/échantillon), mais aussi créer un grand champ de vue qui permettra des mesures plein champ sur de grands échantillons. Cette longueur est encore plus importante pour les lignes ANATOMIX et NANOSCOPIUM (160 mètres) afin d'obtenir la cohérence mais aussi la taille (30-100 nm) du faisceau X attendu au niveau de l'échantillon. Ligne dédiée à la radiographie et la tomographie plein champ en contraste d'absorption et contraste de phase, ANATOMIX couvrira une large gamme de résolutions spatiales : de 30 nm jusqu'à 10 μ m. NANOSCOPIUM permet quant à elle l'analyse élémentaire qualitative, chimique et structurale 2D/3D (ptychographie) dans différents domaines comme la microélectronique et les matériaux, les sciences biomédicales, géo-biologiques et de l'environnement, avec l'objectif d'atteindre la haute résolution : 30 nm.

Traiter les données, construire les images

Les différentes techniques listées, et particulièrement celles permettant la reconstruction 3D des échantillons, nécessitent le traitement et l'analyse d'une énorme quantité de données. Sur NANOSCOPIUM par exemple, la microscopie en rayons X durs par balayage permet l'acquisition de données multimodales, c'est-à-dire la possibilité d'acquérir des images dont chaque pixel contient plusieurs types de données. On peut par exemple réaliser la cartographie d'un échantillon en contrastes d'absorption, de phase, de champs sombre et en fluorescence X en un seul balayage, grâce à l'infrastructure d'acquisition rapide FLYSCAN. Pour faciliter la tâche des scientifiques, un logiciel libre et open-source dédié au traitement et à la reconstruction des données d'imagerie X multimodales et de tomographie a été développé à SOLEIL. MMX-I (« Multi-Modal X-ray Imaging ») offre la possibilité aux utilisateurs de traiter leurs données brutes soit directement sur la ligne NANOSCOPIUM soit sur leur ordinateur personnel. Les plus expérimentés, sachant programmer, peuvent également intégrer MMX-I comme librairie de calcul dans un logiciel existant, ou implémenter de nouvelles fonctionnalités qui seront alors disponibles pour le reste de la communauté. Un autre projet, impliquant des scientifiques de DESY, du KIT et de SOLEIL, est en cours : « défi imag'in » soutenu par la mission pour l'interdisciplinarité (MI) du CNRS. Il a pour but de développer les outils nécessaires (plateforme de calcul, interface graphique) pour le traitement des mesures d'imagerie rapide par diffraction X au fil de l'expérience, voire en temps réel. Un vrai challenge puisque l'augmentation de la brillance des sources de rayons X et l'amélioration de l'efficacité et de la dynamique des détecteurs ont conduit à une augmentation de la vitesse de collecte de plusieurs ordres de grandeur ces deux dernières décennies.

Que l'on se rassure donc : les Téraoctets de données collectées sur des temps de plus en plus courts sur les différentes lignes de SOLEIL pourront bien être traités et convertis en superbes images 2 ou 3D à haute résolution.

... Suite de la page 23

De nouvelles possibilités d'excitation et de détection des échantillons (autofluorescence, pour s'affranchir du marquage par sondes) se sont révélées particulièrement prometteuses pour des applications en diagnostic [3] ou traitement biomédical : par exemple des thérapies ciblant des tumeurs habituellement non accessibles par photochimiothérapie [4], ou l'amélioration de radiothérapies utilisant des nanoparticules [5].

Propriétés électroniques et magnétiques des matériaux avancés, à l'échelle du nanomètre

Exploiter au mieux les propriétés remarquables des nano-objets nécessite préalablement une étude exhaustive de leur structure électronique : détection des niveaux de cœur mais aussi étude de la structure des bandes de valence délocalisées, directement responsables des liaisons chimiques, du transport électrique et des propriétés thermiques et mécaniques. Pour ce faire, la spectroscopie de photoélectrons résolue en angle (ARPES) est la technique adaptée, permettant des mesures précises de la dispersion de la structure de bande de matériaux

Le LBS³ :

un partenariat gagnant³
pour la conception des médicaments
innovants du futur

Rapprocher efficacement et durablement les entreprises des installations du synchrotron, et plus particulièrement de ses lignes de lumière : telle est l'ambition affichée de SOLEIL depuis le début de son exploitation en janvier 2008. La dernière avancée décisive dans cette démarche s'est concrétisée par l'inauguration du Laboratoire de Biologie Structurale Servier à SOLEIL (LBS³) le 23 juin 2016.

Le LBS³ résulte d'un partenariat entre 3 acteurs majeurs de la recherche et de l'innovation françaises dans le domaine médical :

1. Le groupe Servier, premier laboratoire pharmaceutique français indépendant, menant sa recherche industrielle dans 5 domaines thérapeutiques majeurs (cardiologie, oncologie, troubles du métabolisme, neuropsychiatrie et rhumatologie),
2. La PME NovAliX (90 personnes, 7 millions d'euros de chiffre d'affaires), société de recherche sous contrat pour les industriels du secteur de la pharmacie, disposant d'une expertise de haut niveau en chimie et en biophysique,
3. Le Synchrotron SOLEIL, Très Grande Infrastructure de Recherche française, centre de recherche et de services à la recherche et à l'industrie pour les études de la matière vivante et des matériaux avancés.

Ce partenariat, effectif depuis avril 2015 pour une durée de 5 ans renouvelable, concerne l'implantation d'un laboratoire industriel dans le bâtiment synchrotron de SOLEIL, au plus près de ses deux lignes de bio-cristallographie.

Servier est ainsi le premier groupe industriel à bénéficier de locaux mis à disposition par un centre de rayonnement synchrotron français, dans le cadre d'une plateforme technologique intégrée unique qui vient compléter les plateformes ouvertes déjà existantes à

SOLEIL, sectorielles (agro-alimentaire, cosmétiques, matériaux anciens) ou régionales (région Grand Est). D'une surface de 170 m², le LBS³ est un laboratoire dédié aux études structurales et fonctionnelles de molécules-cibles thérapeutiques (protéines). Ces études sont menées par une équipe de 5 chercheurs issus de la société NovAliX, qui bénéficient également de bureaux mis à disposition par SOLEIL dans le bâtiment synchrotron ; au sein du LBS³, ces chercheurs réalisent les différentes étapes de production, de purification et de cristallisation des protéines, avant éventuel transfert des cristaux vers les lignes de lumière de bio-cristallographie PROXIMA-1 et PROXIMA-2A de SOLEIL pour déterminer la structure tridimensionnelle de ces protéines.

Les trois partenaires étaient déjà en relation dans le cadre de collaborations bilatérales. Servier et NovAliX travaillent ensemble depuis une douzaine d'années, les deux entreprises utilisent indépendamment les lignes de bio-cristallographie de SOLEIL, respectivement depuis 2008 et 2011, et SOLEIL et Servier mènent une collaboration scientifique depuis 2011. Le partenariat tripartite renforcé concrétise la complémentarité



Visite de la ligne PROXIMA-2A lors de l'inauguration du LBS³, le 23 juin 2016.

Debout, au premier plan, de gauche à droite : Michel Bournat, Vice-Président du Conseil Départemental de l'Essonne et Président de la communauté d'agglomération du Plateau de Saclay, Olivier Laureau, Président de Servier, Maud Olivier, députée de l'Essonne, Stephan Jenn, Président de NovAliX, et, Christophe Gégout, Administrateur général adjoint du CEA, suivent sur son écran d'ordinateur les explications de William Shepard (assis, de dos), responsable de la ligne PROXIMA-2. Sont également présents, au second plan : Jean Daillant, Stéphanie Hustache, Andrew Thompson, respectivement directeur général, responsable de la communication et directeur des Sciences de la Vie de SOLEIL, ainsi que Gabriel Chardin, Président du comité Très grandes infrastructures de recherche au CNRS.

scientifique et technologique entre les trois acteurs et leur volonté commune de faire avancer la recherche médicale et de renforcer la place de la France dans la compétitivité internationale.

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

EN BREF

UN COMITÉ CONSULTATIF INDUSTRIEL À SOLEIL

Le Comité d'Orientations Stratégiques pour l'Industrie à SOLEIL (COSIS) débutera son activité en février 2017. Structure consultative auprès du Directeur Général de SOLEIL, le COSIS regroupe des personnalités issues d'entreprises représentatives des principaux marchés applicatifs de SOLEIL (pharmacie, pétrochimie, aérospatial, matériaux). Il a pour principal objectif d'exprimer les besoins et attentes de l'industrie à court et moyen termes vis-à-vis des prestations d'études synchrotron.

μPPI ET NANOSATELLITES

SOLEIL est impliqué dans le projet μPPI visant à miniaturiser des propulseurs électroniques pour une classe de satellites de faible masse. Ce projet, porté par un ingénieur de l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, associe également deux autres partenaires techniques, le CNRS et l'École Polytechnique, et un partenaire financier, la SATT Paris-Saclay, qui a sélectionné fin 2015 le projet dans le cadre de son deuxième appel à projets maturation.

Arrêt machine : objectif tunnel



Les 03 et 04 mai 2016, le personnel de SOLEIL a profité de l'arrêt machine pour (re)découvrir les tunnels des différents accélérateurs du synchrotron. Un moment de convivialité très apprécié de tous, d'autant plus que les visites étaient assurées par les opérateurs eux-mêmes. Ces derniers ont ainsi pu partager leur quotidien avec le reste du personnel SOLEIL. Au total, près de 100 personnes ont pris part à ces visites privilégiées ponctuées d'anecdotes sur la machine. Le succès de ces visites laisse entrevoir de nouvelles initiatives de la sorte, visant en valoriser le travail de tous, tout en se réappropriant ce lieu de travail hors du commun qu'est le synchrotron SOLEIL.

Des Youtubers à SOLEIL



Cette année, la Fête de la Science s'est aussi déroulée sur Internet pour le synchrotron SOLEIL. Dans le cadre de l'initiative « Des Youtubers sous Infrar », lancée par le Ministère de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche et qui visait à mettre en relation des Très Grandes Infrastructures de Recherche (TGIR) et des Youtubers, SOLEIL a été retenu par la chaîne du « LaboCube ». Les deux vidéastes, Maxime Labat et Maxime Devige, ont alors imaginé une bataille de rap entre SOLEIL et e-ReColNat, une plateforme numérique pour l'environnement et la société. Au final, pas de vainqueur entre les deux « rappers », Elliot de SOLEIL et Patrick d'e-ReColNat, mais une présentation décalée et originale des deux structures. Cette vidéo, mise en ligne sur le site du Ministère, diversifie encore davantage les portes d'entrées possibles vers SOLEIL. En l'espace de deux mois et demi, la vidéo a déjà été vue plus de 4000 fois.
https://www.youtube.com/watch?v=U_XDzzOhnx0

“ J’organise "sur mesure" les déplacements professionnels des personnels, utilisateurs, et invités scientifiques de SOLEIL. Aux réservations, suivi des dépenses, et gestion des notes de frais s’ajoutent écoute, réactivité et convivialité ! ”

Muriel Martin-Vacherot,
Gestionnaire de missions
Bureau des Missions.

SOLEIL au Salon International de l’Agriculture

Dans le cadre de son partenariat avec l’Institut National de la Recherche en Agronomie (INRA), qui fêtait en 2016 ses 70 ans, SOLEIL a participé du 27 février au 06 mars 2016 au Salon International de l’Agriculture. En équipe avec des utilisateurs du synchrotron provenant de l’INRA, nos chercheurs ont ainsi pu rencontrer le grand public et échanger avec eux sur la nature d’une source de lumière comme SOLEIL, et les possibilités qu’elle offre dans les domaines de l’agriculture et de l’agro-alimentaire. Cette expérience réussie souligne les très bonnes

relations entretenues depuis de nombreuses années entre SOLEIL et l’INRA. La deuxième édition d’un document « INRA-SOLEIL » recensant les travaux communs entre les deux entités paraît d’ailleurs en janvier 2017 (cf. page 3).



CHIFFRE-CLÉ

+38%

d’abonnés sur le compte Twitter de SOLEIL en 2016. Cette hausse, semblable à celle observée sur LinkedIn, vient récompenser les efforts déployés depuis 1 an pour mettre en place une stratégie de communication digitale : sur Twitter, LinkedIn, Facebook et YouTube.



COHERENCE2016



La Rencontre internationale sur la restitution de phase et la diffusion cohérente (International Workshop on Phase Retrieval and Coherent Scattering), COHERENCE2016, qui se tient tous les deux ans dans une cité maritime, s'est tenue au Palais du Grand Large, le magnifique centre de congrès de Saint-Malo, du 7 au 10 juin 2016. Le comité d'organisation de la conférence, dont les chairs étaient Virginie Chamard de l'Institut Fresnel de Marseille, Sylvain Ravy, du LPS d'Orsay et Olivier Thomas, de l'IM2NP de Marseille, représentait la quasi-totalité de la communauté française de cohérence, et s'était regroupé autour du synchrotron-SOLEIL et de son savoir-faire organisationnel pour cette édition 2016.

La conférence a réuni 131 participants sur quatre grands thèmes répartis en 12 sessions : l'imagerie cohérente (CDI), la dynamique (XPCS), les méthodes d'analyse et la théorie, ainsi que les nouvelles

sources. Notons pour l'édition de cette année la confirmation de l'importance de la ptychographie, technique d'imagerie par balayage discutée dans deux sessions, ainsi que l'arrivée en force des lasers à électrons libres (XFEL), présents dans deux sessions également.

La conférence a permis de confirmer le dynamisme de la communauté, qui verra arriver dans les prochaines années à la fois des synchrotrons au rayonnement plusieurs dizaines de fois plus brillant, et donc cohérent qu'actuellement, et plusieurs lasers à électrons libres, en Europe et en Asie. À côté de techniques d'imagerie et de dynamique que les centres s'efforcent de rendre plus accessibles aux non-spécialistes, des techniques émergentes apparaissent utilisant les progrès des détecteurs pixel, les tailles de source nanométriques, et les impulsions ultra-rapides des XFEL.

Malgré une météo générale assez brumeuse, un rayon de soleil est venu accompagner la soirée du banquet « celtique », ainsi que la photo de groupe devant le Fort National, dessiné par Vauban, rappelant le passé prestigieux de la cité corsaire.

→ **Contact:**
sylvain.ravy@u-psud.fr



TAILOR-2016 : TAILored surfaces in Operando conditions : structure and Reactivity

D'importants efforts sont faits actuellement afin de parvenir à une conception rationnelle de catalyseurs de haute performance, qui à leur tour permettront des économies substantielles de coûts, ainsi que l'utilisation durable des ressources. Une grande avancée a été réalisée dans ce domaine au cours de ces dernières années. Cependant, il demeure encore un besoin énorme en recherche fondamentale, afin de comprendre les mécanismes sous-jacents aux processus catalytiques mis en jeu.

Dans ce contexte, et dans le but de promouvoir de fructueux échanges scientifiques, la troisième édition du colloque international TAILOR-2016 s'est tenue à Fontainebleau, France, du 29 mars au 1^{er} avril 2016. Le colloque était organisé conjointement par SOLEIL et plusieurs chercheurs de l'INSP, de l'Institut Néel, l'ESRF, IRCELYON, LITEN (CEA), l'ENS Lyon, LEPMI, ICB et MAX Lab.

Ce colloque de 3 jours a présenté les principales avancées scientifiques effectuées sur les études *operando* et *in situ* en réactivité de surfaces, à la fois du point de vue expérimental et théorique. Pendant les sessions et conférences plénières, une large gamme de techniques expérimentales a été abordée, comme la spectroscopie, la microscopie, la diffusion des rayons X, les sondes de balayage, mais aussi de nouveaux développements instrumentaux, tous appliqués à différents matériaux catalytiques « sur mesure », y compris les surfaces modèles, les nanoparticules d'oxyde supporté et les systèmes électrochimiques. En complément de ces études

expérimentales, plusieurs présentations ont porté sur la modélisation avancée de surfaces, et des catalyseurs modèles de pointe.

Le colloque TAILOR 2016 a été une vraie réussite, et ses participants attendent avec impatience la prochaine édition qui aura lieu à Lund, en Suède, en 2018. Il est important de souligner que ce futur quatrième volet aura pour la première fois lieu dans un pays autre que la France. Cela témoigne du succès de la série TAILOR et prouve la pertinence de ce domaine de recherche en science des matériaux et ingénierie aujourd'hui.

→ **Contact:**
alina.vlad@synchrotron-soleil.fr



Workshop « Low Emittance Ring 2016 »



1 - Les participants du workshop.

Le sixième et dernier workshop de la série « Low Emittance Ring » (« Anneaux de faible émittance ») LER2016, s'est tenu du 26 au 28 octobre 2016 à SOLEIL, sous l'égide d'EuCARD2, réseau pour une R&D coordonnée des accélérateurs de particules, co-financé par le programme-cadre FP7 « Capacités » de la Commission Européenne. Ce réseau intègre le thème « Anneaux de faible émittance (LOW-ε-RING) », pour lequel le workshop était organisé. Le comité d'organisation local était composé du groupe Physique des Accélérateurs et des assistantes de la Division Accélérateurs et Ingénierie (DAI). Malgré la tenue d'autres workshops à cette même période, 66 participants venus du monde entier ont assisté au workshop LER2016, en provenance de 28 laboratoires et universités, dont 14 d'Europe, 7 des États-Unis, du Canada et du Brésil, et 6 d'Asie, incluant l'Australie.

Le but des workshops LOW-ε-RING est de rassembler les experts des communautés des anneaux d'amortissement pour la physique des hautes énergies et des sources de rayonnement synchrotron, puisqu'ils partagent aujourd'hui de nombreux défis physiques et technologiques. Avec l'intérêt croissant de la communauté des sources de lumière pour la construction des DLSR (Diffraction Limited Storage Rings; anneaux de stockage atteignant la limite de diffraction), cette dernière prédominait clairement dans le nombre de participants et de contributions. Quarante-neuf présentations ont été données pendant les trois jours du workshop, regroupées en trois sessions : état d'avancement des projets et dynamique du faisceau d'électrons; effets collectifs; technologie des anneaux de faible émittance.

Amor Nadji, directeur de la DAI, a présenté des scénarios possibles pour le futur « upgrade » de l'anneau de stockage de SOLEIL. Le deuxième jour a eu lieu une session spéciale en l'honneur du professeur Dieter Einfeld, pour sa contribution majeure à la construction de nombreuses sources de lumière dans le monde, et pour ses travaux précurseurs sur les structures magnétiques à plusieurs dipôles MBA (Multi Bend Achromat), qui sont la clé du succès actuel des DLSR. Dans la session de synthèse, le coordinateur a présenté la transition réussie entre les workshops LOW-ε-RING et RULE (Ring with Ultra Low Emittance; anneau à émittance ultra faible) dans le cadre d'ARIES (Accelerator Research and Innovation for European Science and Society; recherche et innovation sur les accélérateurs pour la science et la société européennes) qui remplace EuCARD2.

→ **Plus d'informations ici:**
www.synchrotron-soleil.fr/Workshops/2016/LER2016
→ **Contact:**
Ryutaro.nagaoka@synchrotron-soleil.fr



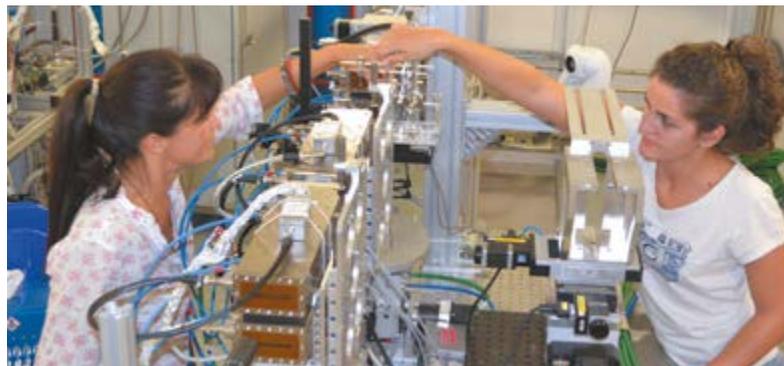
2 - Le Professeur Dieter Einfeld (au centre) recevant un Prix pour l'ensemble de sa carrière.

ÉNERGIE

Vers le stockage électrochimique de l'énergie, nouvelle génération

* Réseau sur le stockage électrochimique de l'énergie

Le réchauffement climatique et le caractère épuisable des énergies fossiles font des énergies renouvelables une priorité française et européenne. Dans ce contexte, le RS2E*, initié en 2011, s'est fixé comme objectif d'élaborer de nouveaux moyens pour stocker l'énergie sous forme électrochimique à grande échelle, à faible coût et en respectant des principes durables. Il s'agit d'un réseau de recherche et de transfert technologique français, consacré aux différents dispositifs de stockage électrochimique de l'énergie : batteries rechargeables, supercondensateurs et technologies alternatives pour les véhicules électriques, l'électronique portable, ou le stockage de l'électricité issue de sources renouvelables. On peut citer, parmi les objectifs visés à moyen terme : assemblage des batteries en une seule étape grâce à l'impression 3D ; conception de systèmes composés de matériaux abondants, à faible coût et produits par des processus à basse température ; émergence de technologies sans lithium ; développement de dispositifs associant à la fois les fonctionnalités de stockage et de conversion de l'énergie... Le RS2E est partenaire de l'équipement d'excellence ROCK, incluant notamment la ligne de lumière de SOLEIL du même nom, dont la construction a été financée par



Stéphanie Belin (à gauche), scientifique sur ROCK, et Antonella Iadecola, ingénieure de recherche CNRS/RS2E, mettent en place des cellules électrochimiques dans le porte-échantillon multiple de la cabane expérimentale de ROCK.

Le projet en 3 points

l'ANR dans le cadre du Plan Investissements d'Avenir. La ligne ROCK est dédiée à l'étude des processus cinétiques rapides sur des nanomatériaux utilisés principalement dans le domaine de la catalyse et des batteries, grâce à la spectroscopie d'absorption des rayons X. Via une collaboration spécifique CNRS/RS2E/SOLEIL, une ingénieure de recherche travaille sur ROCK, sous la co-responsabilité de la ligne et du Réseau, avec pour mission de mettre en place sur synchrotron des expériences innovantes pour les recherches sur le stockage électrochimique de

l'énergie. Cette ingénieure assure également l'accueil des scientifiques du RS2E utilisateurs de ROCK. Des lignes de SOLEIL proposant des techniques d'analyse complémentaires à celles disponibles sur ROCK peuvent aussi être sollicitées dans le cadre de ce réseau : une palette de lumières au service des recherches sur le stockage de l'énergie.

➔ **Pour en savoir plus :**
www.energie-rs2e.com/
 ➔ **Contact :**
stephanie.belin@synchrotron-soleil.fr

1 Réseau du CNRS créé avec le soutien du Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, le RS2E rassemble 17 laboratoires de recherche publics, 3 établissements publics de recherche spécialistes du transfert technologique (CEA, IFP, INERIS) et 15 partenaires industriels.

2 Le RS2E a été créé pour éviter que, comme ce fut le cas dans les années 1990 avec les batteries Li-ion, le marché des nouvelles technologies de stockage d'énergie ne soit dominé par l'Asie, et ce malgré une recherche occidentale très active.

3 Depuis le début du fonctionnement de ROCK en mars 2015, des études operando sur divers matériaux d'électrodes ont été réalisés grâce aux développements d'équipements dédiés, et de puissants outils de chimométrie sont aujourd'hui disponibles, rendant possible l'exploitation des milliers de spectres enregistrés au cours des expériences.