

Lumière sur les enjeux du XXI^e siècle



Réflexion autour
de résultats
obtenus sur la
ligne SMIS.

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



DISCO-METROLOGIE

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

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

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

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

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

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

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

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

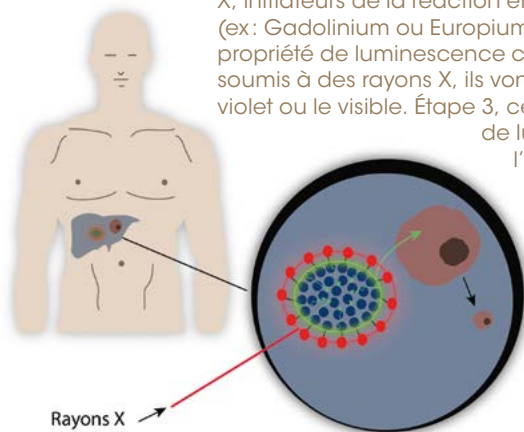
→ Contacts:

matthieu.refregiers@synchrotron-soleil.fr

pascal.mercere@synchrotron-soleil.fr

Référence :

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



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

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

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

ROCK - SAMBA

Énergie - Une société tournée vers l'hydrogène

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

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

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

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

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

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

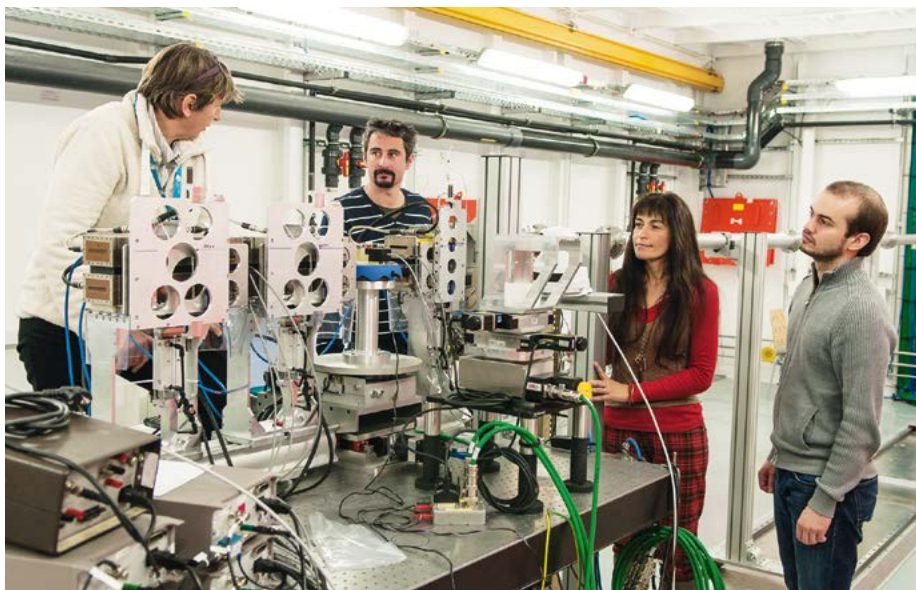
→ Contacts :

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

Références :

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

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



MARS

Environnement – Radionucléides et eau de mer

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

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

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

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

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

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

... Suite de la page 16

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

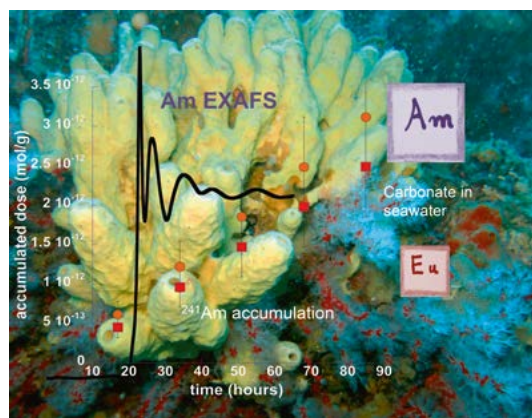


Figure 1: Sur fond de photographie de *Aplysina cavernicola*, les courbes d'accumulation de Am-241 au cours du temps (pour deux spécimens). En noir, un exemple de spectre EXAFS enregistré au seuil L_3 de l'Am.

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

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

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

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

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

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

PROXIMA2

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

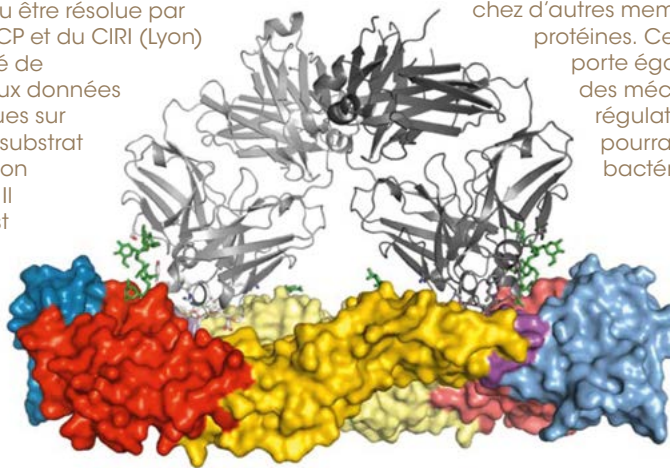
La ligne PROXIMA2 a contribué cette année à l'obtention de résultats majeurs concernant deux pathogènes : la bactérie *Legionella pneumophila* et le virus DENV, respectivement responsables de la légionellose, forme agressive de pneumonie, et de la dengue, fièvre pouvant être hémorragique, et donc mortelle.

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

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

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

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



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

©Institut Pasteur.

... Suite de la page 19

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

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

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

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

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

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

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

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

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

→ **Contacts :**
laurent.terrardot@ibcp.fr
rey@pasteur.fr

Références :

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



Échanges sur la ligne PROXIMA2.

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

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

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

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

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