

Lettre scientifique

AUTOMNE 2024

cea irig

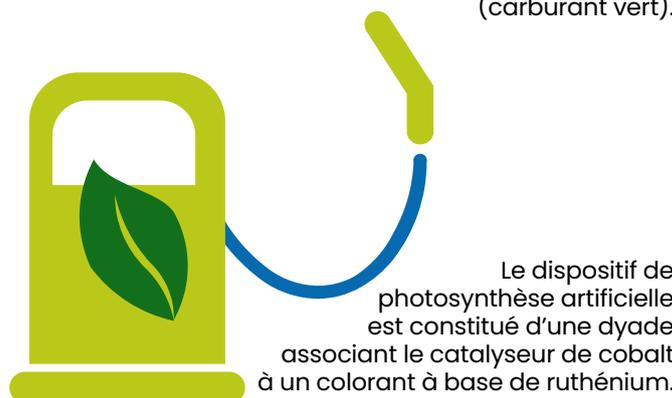
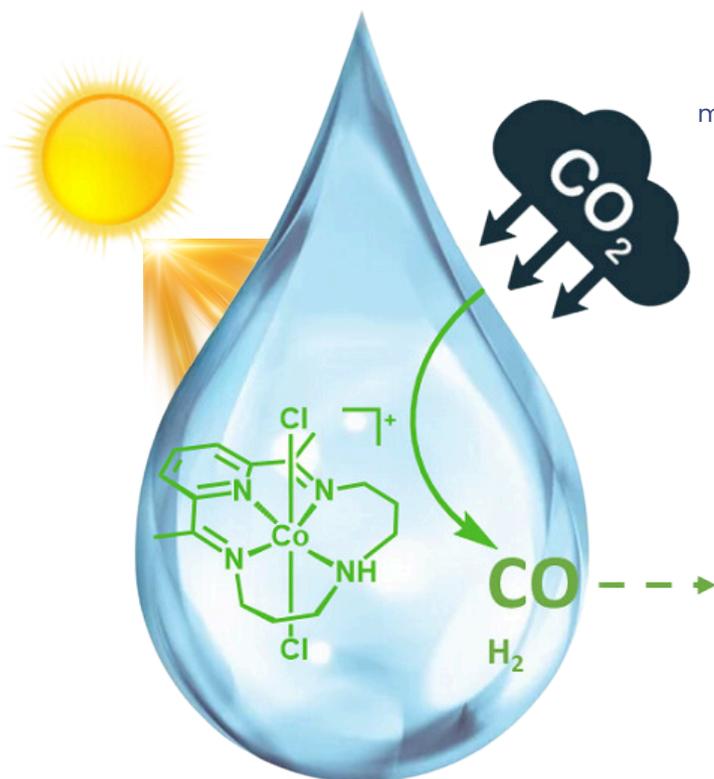
in

À la une de l'irig

Un catalyseur au cobalt et du soleil pour produire du carburant vert

Le CO₂ principal contributeur du réchauffement climatique peut être recyclé pour produire des carburants verts, ou des matériaux carbonés, en convertissant le CO₂ en CO grâce à un catalyseur à base de cobalt et des nanotubes de carbone.

Des chercheurs de l'Irig travaillent depuis de nombreuses années sur le développement de procédés catalytiques efficaces et bas coût pour la conversion et le stockage des énergies renouvelables sous une forme chimique (carburant vert).



Le dispositif de photosynthèse artificielle est constitué d'une dyade associant le catalyseur de cobalt à un colorant à base de ruthénium.

Cette ingénieuse combinaison reproduit les étapes clés du fonctionnement des organismes photosynthétiques pour permettre la production de gaz de synthèse solaire.

Les scientifiques ont récemment mis au point un matériau électrocatalytique qui convertit le CO₂ en monoxyde de carbone (CO) avec plus de 90 % de sélectivité (les 10 % restant étant de l'hydrogène) grâce à l'immobilisation d'un catalyseur moléculaire à base de cobalt sur une électrode en nanotubes de carbone.

Ce système est rapide et stable (20 000 cycles catalytiques en 2h). Le gaz de synthèse (mélange CO/H₂) ainsi obtenu est un intermédiaire clé dans la synthèse des alcools ou des hydrocarbures.

Pour aller plus loin, par le biais d'une collaboration impliquant l'Irig et l'université franco-vietnamienne de Hanoi, ce catalyseur a été intégré au sein d'une cellule photo-électrochimique fonctionnant uniquement à l'énergie solaire pour convertir du CO₂ et de l'eau en gaz de synthèse.

Murielle Chavarot-Kerlidou | LCBM I
Laboratoire Chimie et Biologie des Métaux

Référence

Haake M, Aldakov D, Pérard J, Veronesi G, Aguilar Tapia A, Reuillard B et Artero V.
Impact of the Surface Microenvironment on the Redox Properties of a Co-Based Molecular Cathode for Selective Aqueous Electrochemical CO₂-to-CO Reduction
Journal of American Chemical Society 2024

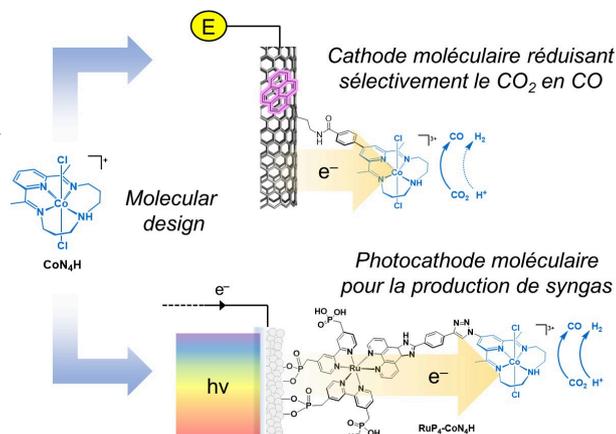


Figure : structure chimique du catalyseur macrocyclique de cobalt et représentation schématique de cathode moléculaire et de photocathode développées au LCBM/SolHyCat. © CEA

Au cœur de la structure électronique d'un supraconducteur

Une des caractéristiques d'un matériau supraconducteur est sa capacité à conduire un courant électrique sans aucune résistance. Afin de maîtriser les conditions de la supraconductivité, il est fondamental de déterminer tous les détails de la structure électronique du matériau.

Georg Knebel | [Pheliqs](#) |

PHotonique Electronique et Ingénierie Quantiques

Collaboration

- Department of Physics, The Chinese University of Hong Kong, Chine
- Shenzhen Research Institute, The Chinese University of Hong Kong
- Department of Physics, Southern University of Science and Technology, Shenzhen, Guangdong, Chine
- Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses, Grenoble

Dans cet objectif, une équipe de l'Irig [**collaboration**] s'est intéressée à une famille de matériaux récemment découverte : les supraconducteurs de kagomé, de formule AV_3Sb_5 ($A = K, Rb$ ou Cs). Cette désignation provient de l'arrangement des atomes de vanadium semblable au tissu traditionnel du panier japonais kagomé (voir **photo**).

Afin d'obtenir la supraconductivité du matériau étudié CsV_3Sb_5 , il convient de le refroidir à très basse température. Cependant lorsque cette opération est réalisée à la pression atmosphérique, un autre état ordonné apparaît. Pour accéder à l'état d'origine de ce matériau, les chercheurs lui ont imposé une pression hydrostatique de 3 GPa. Puis, à très basse température, en mesurant la résistivité du matériau en fonction d'un champ magnétique externe, ils sont alors parvenus à déterminer la structure électronique du CsV_3Sb_5 dans un état équivalent à son état d'origine mais à plus haute température.

Pour la première fois, la structure électronique en forme de large orbite du supraconducteur de kagomé CsV_3Sb_5 a pu être déterminée expérimentalement (**figure**). Cette forme caractéristique coïncide parfaitement avec les calculs théoriques confirmant qu'il s'agit de l'état fondamental d'origine de ce matériau sans aucune déformation.

De plus, ces études aideront à appréhender d'autres instabilités présentes dans les différents états quantiques du matériau.

Avec les soutiens financiers

- Research Grants Council of Hong Kong
- The Chinese University of Hong Kong
- City University of Hong Kong
- Projet ANR FETOM

REFERENCE

Zhang W, Poon TF, Tsang CW, Wang W, Liu X, Xie J, Lam ST, Wang S, Lai KT, Pourret A, Seyfarth G, Knebel G, Yu WC and Goh SK.

Large Fermi surface in pristine kagome metal CsV_3Sb_5 and enhanced quasiparticle effective masses
Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 2024

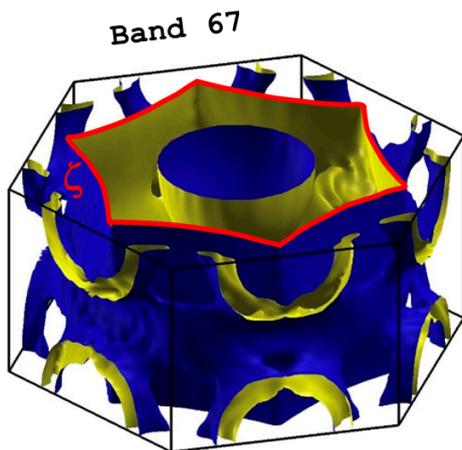


Figure : structure des états quantiques électroniques du supraconducteur de kagomé CsV_3Sb_5 selon les calculs théoriques. Le tracé en rouge correspond à la plus grande orbite électronique. © CEA



Photo : panier japonais kagome © CEA

Caractériser à grande échelle les modifications des protéines

Les protéines sont des molécules importantes du domaine vivant, car elles prennent en charge la plupart des fonctions biologiques. Leurs modifications enzymatiques, notamment l'addition ou la soustraction de divers groupements chimiques, permet de moduler leurs activités. C'est une des stratégies utilisées par les systèmes vivants pour s'adapter aux conditions qu'ils rencontrent. Afin de suivre ces changements notables, une équipe de l'Irig développe des méthodes protéomiques basées sur la spectrométrie de masse pour caractériser à large échelle les modifications des protéines.

Yohann Couté | BGE |
Biosciences et Bioingénierie pour la Santé

Une protéine **kinase** est une enzyme catalysant le transfert d'un groupe phosphate d'une molécule donneuse à une protéine cible. La **phosphorylation** est l'addition d'un groupe phosphate à une protéine ou une petite molécule.

Une des modifications fréquemment réalisées sur les protéines consiste à additionner ou à soustraire un groupement phosphate par des protéines **kinases** et des phosphatases. Ces modifications, désignées **phosphorylation** et déphosphorylation, permettent de réguler finement l'activité des protéines cibles. Il est donc important d'identifier quels sites des protéines sont modifiés et leurs niveaux de modification, en fonction des conditions physiopathologiques étudiées, afin de déterminer les processus moléculaires mis en jeu.

Ainsi, une équipe de l'Irig grâce à son expertise en biochimie, en sciences analytiques et en science des données, a développé une méthodologie permettant d'identifier et de quantifier simultanément des milliers de sites de phosphorylation de protéines dans des échantillons complexes. Par exemple, dans le cadre d'études sur la maladie de Rendu-Osler, cette méthode a permis récemment de découvrir de nouvelles voies de signalisation régulées par les protéines BMP9 et BMP10 dans les cellules endothéliales (FM Biosanté) [1]. Un autre exemple d'application de cette méthode, concerne la compréhension de mécanismes moléculaires utilisés par le virus de l'hépatite B pour pirater la machinerie cellulaire à son profit dans des hépatocytes primaires [2].

Les développements réalisés permettent aujourd'hui d'identifier et de quantifier environ 10 000 sites de phosphorylation dans un protéome complexe en une seule analyse, permettant de mieux comprendre les mécanismes qui régulent les fonctionnements physiologiques et pathologiques des systèmes biologiques.

Avec les soutiens financiers

Agence Nationale de la Recherche :

- ProFI (Proteomics French Infrastructure)
- GRAL *via* Chemistry Biology Health Graduate School at University Grenoble Alpes

Agence Nationale de Recherche sur le Sida et les hépatites virales :

- projet ECTZ

REFERENCES

[1] Al Tarrass M, Belmudes L, Koça D, Azemard V, Liu H, Al Tabosh T, Ciais D, Desroches-Castan A, Battail C, Couté Y, Bouvard C and Bailly S.

Stimulation Large-scale phosphoproteomics reveals activation of the MAPK/GADD45β/P38 axis and cell cycle inhibition in response to BMP9 and BMP10 in endothelial cells. *CELL COMMUN SIGNAL*. 2024

[2] Pastor F, Charles E, Belmudes L, Chabrolles H, Cescato M, Rivoire M, Burger T, Passot G, Durantel D, Lucifora J, Couté Y and Salvetti A.

Deciphering the phospho-signature induced by hepatitis B virus in primary human hepatocytes. *Front Microbiol*. 2024

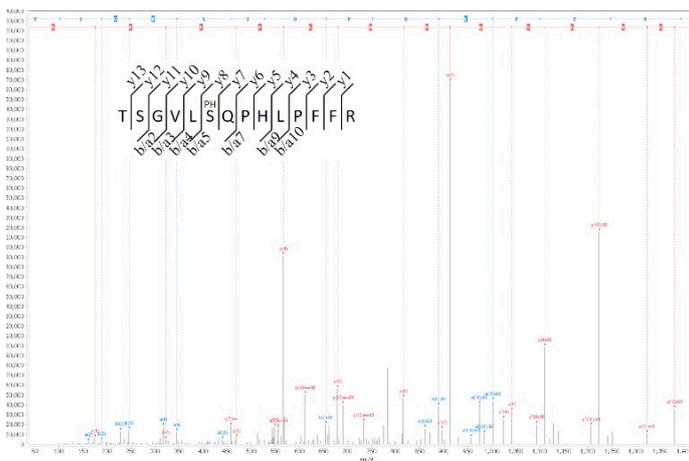


Figure : identification d'un site de phosphorylation par analyse protéomique basée sur la spectrométrie de masse. Après digestion des protéines de l'échantillon analysé, les peptides produits sont analysés par spectrométrie de masse et les spectres générés interprétés par des outils *ad-hoc* afin d'identifier leurs séquences en acides aminés et leurs modifications.

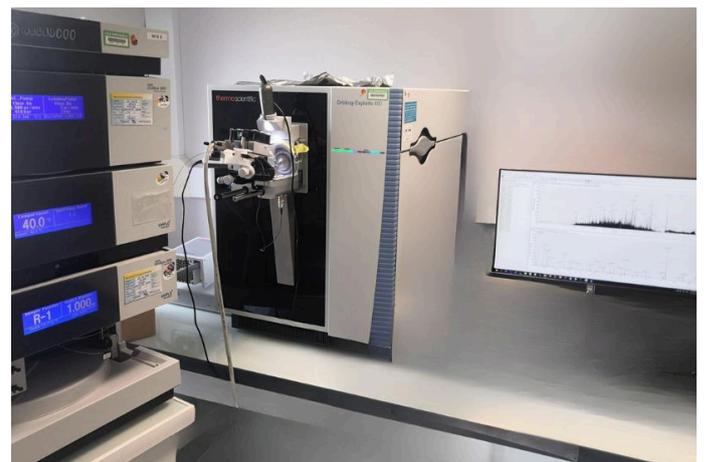


Photo : couplages nanoLC-MS. © CEA



L'altermagnétisme au bénéfice de la spintronique

Il existe communément deux types de matériaux magnétiques. Les ferromagnétiques ont la capacité de s'aimanter sous l'effet d'un champ magnétique extérieur et de garder cette aimantation ; c'est le cas par exemple des fer, cobalt et nickel purs. Et ils ont naturellement la capacité de polariser magnétiquement un courant électrique qui les traverse. Tandis que les anti-ferromagnétiques sont composés de moments magnétiques alternativement opposés et donc l'aimantation résultante est nulle. Et *a priori* ils ne polarisent pas le courant électrique.

Une récente découverte vient de révéler un troisième type de matériaux magnétiques appelés **altermagnétiques**. Cette nouvelle classe importante des matériaux se distingue par la configuration des spins qui lui confère des propriétés propres, comme par exemple la possibilité de polariser magnétiquement un courant électrique, malgré l'absence d'aimantation.

Vincent Baltz | [Spintec](#) |
Spintronique et technologie des Composants

Pour de futures applications, l'altermagnétisme en combinant les avantages du ferromagnétisme (polariser en spin un courant électrique) et de l'antiferromagnétisme (robustesse aux champs magnétiques et réponse aux fréquences THz ultrarapides) permettrait de réaliser des dispositifs spintroniques plus performants, car plus rapides et plus denses.

A ce jour, seuls quatre matériaux altermagnétiques ont été découverts expérimentalement :

- RuO₂
- Mn₅Si₃
- MnTe
- CrSb.

Les chercheurs de l'Irigr [**collaboration**] se sont intéressés au Mn₅Si₃ qui possède le caractère altermagnétique du fait du positionnement des moments magnétiques par rapport à ses symétries cristallines (voir **figure**). De plus, ce matériau a l'avantage d'être composé d'éléments abondants et peu onéreux.

Guidés par des prédictions théoriques et des simulations, les chercheurs ont été les premiers à montrer expérimentalement le caractère altermagnétique du matériau Mn₅Si₃. Celui-ci a été révélé, d'une part par la présence d'un **effet Hall anormal** : une propriété magnétorésistive typique des ferromagnétiques car liée à l'existence d'une aimantation, tandis que le Mn₅Si₃ ne possède pas d'aimantation. Et d'autre part, le rôle des symétries cristallines attendues pour expliquer l'altermagnétisme a également été confirmé.

Cet article pionnier dans ce domaine, présente des résultats expérimentaux obtenus juste un an après la prédiction théorique de l'altermagnétisme.

La découverte du caractère original altermagnétique ouvre un nouveau champ d'investigations dans le domaine de la physique des matériaux. Elle suscite grandement l'intérêt de la communauté scientifique, qui espère ainsi exploiter l'altermagnétisme pour des développements innovants.

(suite page 5)

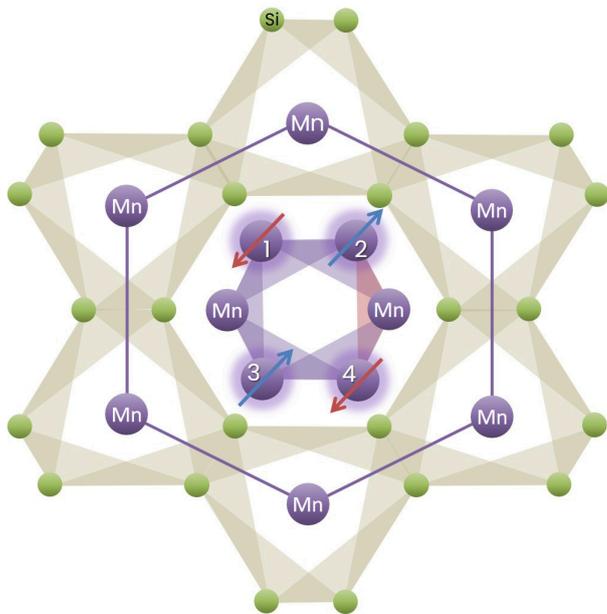


Figure : Structure cristalline et altermagnétique du siliciure de manganèse (Mn_5Si_3). Imbriqués dans la structure cristalline des atomes de silicium (en vert), les atomes de manganèse (Mn en violet) sont répartis selon un grand hexagone et un petit hexagone au centre. Les chercheurs ont montré que l'altermagnétisme est produit par seulement quatre des six atomes de manganèse centraux formant un ensemble de moments magnétiques colinéaires orientés alternativement dans des directions opposées (flèches rouges et bleues). Les atomes de manganèse sont reliés par symétrie de rotation de par l'anisotropie de leur environnement non-magnétique.
© [Collaboration]

Un matériau **altermagnétique** est composé de moments magnétiques orientés dans des directions opposées en alternance, comme s'il s'agissait d'un matériau antiferromagnétique colinéaire. Dépourvu d'aimantation, ce matériau peut néanmoins (sous certaines conditions) polariser un courant électrique qui le traverse. La polarisation est due au décalage des bandes électroniques des spins majoritaires et minoritaires. Les cristaux ferromagnétiques, antiferromagnétiques et altermagnétiques appartiennent à trois sous-groupes de symétries distincts. En effet, contrairement à un antiferromagnétique, les deux sous-réseaux de moments qui composent l'altermagnétique n'ont pas le même environnement électronique de telle sorte qu'ils sont reliés par une symétrie de rotation et non pas par une symétrie de translation ou d'inversion

L'**Effet Hall anormal** correspond à l'apparition d'une tension électrique transversalement à une tension électrique et le courant résultant. Cette tension est induite par la présence d'une aimantation dans le matériau, sans appliquer de champ magnétique extérieur comme dans le cas de l'effet Hall conventionnel.

Financements

- Projets soutenus par l'ANR : ASTRONICS, MATHEEIAS
- Projet soutenu par le CNRS : SPINMAT

Collaborations

- Spintronique et technologie des composants (SPINTEC) Université Grenoble Alpes - CEA - CNRS, Grenoble France
- Centre interdisciplinaire de nanosciences de Marseille (CINAM) Aix-Marseille Université - CNRS, France
- Université Johannes-Gutenberg de Mayence, Allemagne
- Université technique de Dresde, Allemagne
- Université de Constance, Allemagne
- Institut de Physique de l'académie des sciences tchèque, République Tchèque Université Charles, République Tchèque

REFERENCES

[1] Reichlova H, Seeger RL, González-Hernández R, Kounta I, Schlitz R, Kriegner D, Ritzinger P, Lammel M, Leiviskä M, Birk Hellenes A, Olejník K, Petříček V, Doležal P, Horak L, Schmoranzero E, Badura A, Bertaina S, Thomas A, Baltz V, Michez L, Sinova J, Goennenwein STB, Jungwirth T and Šmejkal L. Observation of a spontaneous anomalous Hall response in the Mn_5Si_3 d-wave altermagnet candidate *Nature Communications* 2024

[2] Reichlova H, Seeger RL, González-Hernández R, Kounta I, Schlitz R, Kriegner D, Ritzinger P, Lammel M, Leiviskä M, K, Petříček V, Doležal P, Horak L, Schmoranzero E, Badura A, Thomas A, Baltz V, Michez L, Sinova J, Goennenwein STB, and Šmejkal L. Macroscopic time reversal symmetry breaking by staggered spin-momentum interaction *ArXIV preprint* 2021

La lumière bleue en veut-elle à notre peau ?

La lumière bleue issue de nos écrans a des effets néfastes sur notre vue. Celle provenant du rayonnement solaire aurait-elle un impact sur notre peau, et en particulier l'induction de cancers cutanés ?

Thierry Douki | SYMMES |
Systèmes Moléculaires et
nanoMatériaux pour l'Énergie et la
Santé

Dans ce but, les chercheurs de l'Irig, en collaboration avec les laboratoires Pierre Fabre Dermo-Cosmétique, ont voulu savoir si la lumière bleue ne dégradait pas les enzymes de réparation qui sont chargées d'éliminer les photoproduits induits dans l'ADN par le rayonnement UVB solaire.

Pour ce travail, les scientifiques ont reconstitué *in vitro* des épidermes humains pour les exposer à de la lumière bleue, puis aux rayons UV.

Les résultats montrent que l'exposition à la lumière bleue ralentit fortement l'élimination des photoproduits. Les chercheurs ont ensuite répété l'expérience en appliquant au préalable sur les modèles de peau de la crème solaire contenant du TriAsorB qui agit comme un photoprotecteur contre la lumière bleue. Dans ces conditions, la réparation de l'ADN n'est plus diminuée par l'exposition à la lumière bleue. Par ailleurs, une étude clinique réalisée sur des personnes volontaires a montré l'efficacité de cette crème solaire pour protéger l'ADN durant des expositions estivales.

Ces données apportent des informations importantes sur la toxicité du rayonnement solaire et conduisent à de nouvelles pistes en terme de photoprotection.

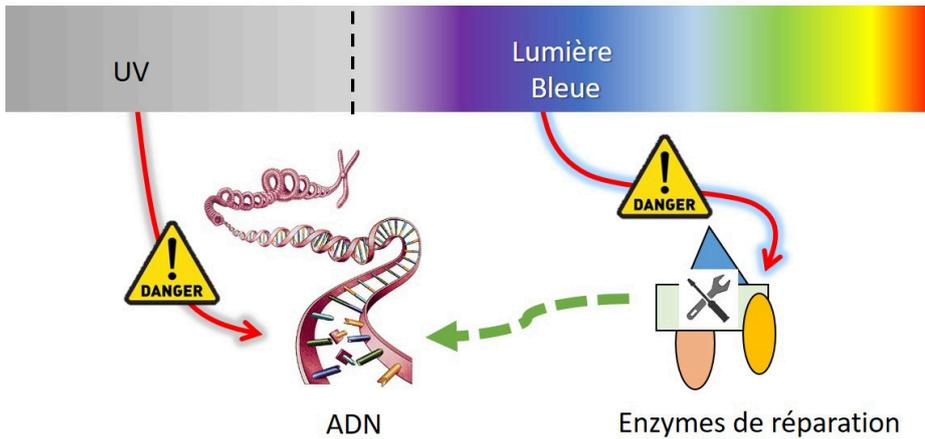
REFERENCE

[1] Douki T, Bacqueville D, Jacques C, Genies C, Rouillet N, Bessou-Touya S and Duplan H.

Blue light impairs the repair of UVB-induced pyrimidine dimers in a human skin model. *Photochem Photobiol* 2024

[2] Douki T, Caillat S, Bacqueville D, Genies C, Huyghe C, Duplan H, Le Digabel J, Lauze C, Filiol J, Marinescu R, Bouyer K, Questel E and Josse G.

Nuclear and urinary measurements show the efficacy of sun-protection factor 50+ sunscreen against DNA photoproducts upon real-life recreational exposure. *Journal of Investigative Dermatology Innovations* 2023



Détection de charge négative dans une monocouche 2D dopée par microscopie 4D-STEM

Les anomalies de structure dans les matériaux 2D sont reconnues comme essentielles pour modifier localement leurs propriétés électriques, optiques et magnétiques. Pour contrôler les propriétés des matériaux et explorer leurs fonctionnalités, il est important de pouvoir accéder aux propriétés électriques locales ainsi que leur configuration structurale à l'échelle atomique. Récemment, une nouvelle technique d'imagerie a été développée, sensible aux champs électrostatiques locaux, appelée Microscopie Électronique à Transmission à Balayage en 4 Dimensions (4D-STEM). Cette technique n'est toutefois pas encore utilisée de manière routinière pour l'étude des matériaux 2D en raison du manque de compréhension quantitative et d'interprétation des images reconstruites.

Hanako Okuno | MEM |
Modélisation et Exploration des
Matériaux

Une équipe de l'Irig [Collaboration] a utilisé la 4D-STEM pour étudier une monocouche de WSe₂ dopé au vanadium, synthétisé au sein de l'Irig/Spintec. Les images reconstruites à l'échelle atomique du champ électrique et du potentiel électrostatique ont été comparées aux simulations d'images STEM basées sur des calculs *ab initio* en tenant compte de paramètres du microscope tels que les aberrations du faisceau. Cela a conduit à un accord quantitatif entre les reconstructions expérimentales et simulées du potentiel électrostatique.

Autre fait intéressant, une chute significative du potentiel autour des atomes de dopants de vanadium a été détectée et attribuée à la présence de charges négatives (voir Figure) montrant clairement la capacité de la 4D-STEM à révéler des informations électriques allant au-delà de l'analyse structurale simple.

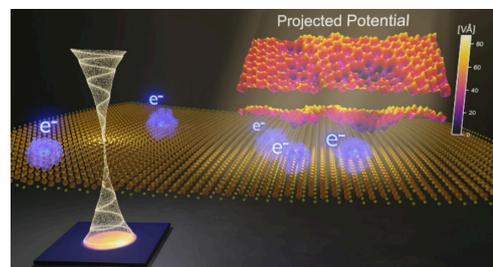


Figure : illustration de la cartographie du potentiel électrostatique, réalisée par microscopie 4D-STEM. La présence de charges négatives autour des atomes dopants vanadium induit une chute de potentiel. © ACS Nano

Enfin, la technique a été utilisée pour imager le paysage du potentiel électrostatique dans des configurations structurales plus complexes, en particulier en présence de défauts liés à la croissance, ouvrant la perspective pour une analyse à l'échelle atomique des effets de charge et des interactions entre défauts chargés dans les matériaux 2D synthétisés. La 4D-STEM offre une approche puissante pour sonder les champs électrostatiques locaux et les paysages de potentiel à l'échelle atomique. La capacité démontrée à analyser quantitativement les états de charge autour des dopants individuels et des défauts complexes souligne le potentiel de cette technique pour faire progresser la compréhension de la structure des matériaux 2D et de leurs propriétés fonctionnelles.

Collaboration

- Irig/Spintec pour la croissance MBE
- Irig/MEM et UC Louvain (Belgique) pour les calculs *ab initio*
- Institut Néel pour le traitement des données 4D-STEM

REFERENCE

[1] Djordje Dosenovic, Samuel Dechamps, Kshipra Sharma, Jean-Luc Rouviere, Yiran Lu, Martien Ilse den Hertog, Luigi Genovese, Simon Mutien-Marie Dubois, Jean-Christophe Charlier, Matthieu Jamet, Alain Marty and Hanako Okuno
Imaging Negative Charge around Single Vanadium Dopant Atoms in Monolayer Tungsten Diselenide Using 4D Scanning Transmission Electron Microscopy
ACS Nano 2024

La maladie de Rendu-Osler donne de la voie

La pathologie vasculaire Téliangiectasie Hémorragique Héritaire, plus communément appelée maladie de Rendu-Osler provoque des saignements de nez et des malformations artérioveineuses des poumons, du foie, ou du système nerveux central. Cette maladie génétique rare est due à des mutations de plusieurs gènes, dont le gène « Activin receptor-Like Kinase 1 » (ALK1) qui code pour un récepteur à activité kinase exprimé à la surface des cellules endothéliales tapissant les vaisseaux sanguins. Une équipe de l'Irig cherche à mieux comprendre les mécanismes moléculaires à l'origine de la maladie de Rendu-Osler en étudiant les voies de signalisation au sein des cellules endothéliales.

Sabine Bailly | Biosanté | Biologie et Biotechnologies pour la Santé

Collaboration

BAL (Irig/Biosanté) EDyP (Irig/BGE) et IMAC (Irig/Biosanté)

En 2007, une équipe de l'Irig a identifié deux protéines « Bone Morphogenetic Protein » (BMP9 et BMP10) comme ligands du récepteur ALK1 [1,2]. La liaison de ces deux protéines sur ce récepteur entraîne la **phosphorylation** de facteurs de transcription de l'ADN, dont la fonction est de réguler l'expression des gènes. L'objectif de ce travail a été d'identifier de nouvelles voies de signalisation activées par ces facteurs en stimulant des cellules endothéliales humaines. Pour la première fois, une étude à grande échelle [collaboration] a permis de comparer quantitativement les abondances relatives de plus de 10 000 sites de phosphorylations.

La **phosphorylation** est l'addition d'un groupe phosphate à une protéine ou une petite molécule. La **spectrométrie de masse** est une technique d'analyse qui permet la détermination de la masse moléculaire ainsi que l'identification de complexes moléculaires.

Cette analyse phospho-protéomique, basée sur la **spectrométrie de masse**, a permis d'identifier de nouvelles voies de signalisation en réponse à une stimulation par les protéines BMP9 et BMP10. Notamment la voie de signalisation MAPK (mitogen activated protein kinases) [3].

La finalité de ces recherches est de proposer de nouvelles voies thérapeutiques pour la maladie de Rendu-Osler.

REFERENCES

[1] David L, Mallet C, Mazerbourg S, Feige JJ and Bailly S. Identification of BMP9 and BMP10 as functional activators of the orphan activin receptor-like kinase 1 (ALK1) in endothelial cells. *Blood* 2007

[2] Tillet E, Ouarné M, Desroches-Castan A, Mallet C, Subileau M, Didier R, Lioutsko A, Belthier G, Feige J-J and Bailly S.

A heterodimer formed by bone morphogenetic protein 9 (BMP9) and BMP10 provides most BMP biological activity in plasmaBioactive BMP9-10 heterodimers in blood. *Journal of Biological Chemistry* 2018

[3] Al Tarrass M, Belmudes L, Koça D, Azemard V, Liu H, Al Tabosh T, Ciaï D, Desroches-Castan A, Battail C, Couté Y, Bouvard C and Bailly S.

Large-scale phosphoproteomics reveals activation of the MAPK/GADD45β/P38 axis and cell cycle inhibition in response to BMP9 and BMP10 stimulation in endothelial cells. *Cell Communication and Signaling* 2024

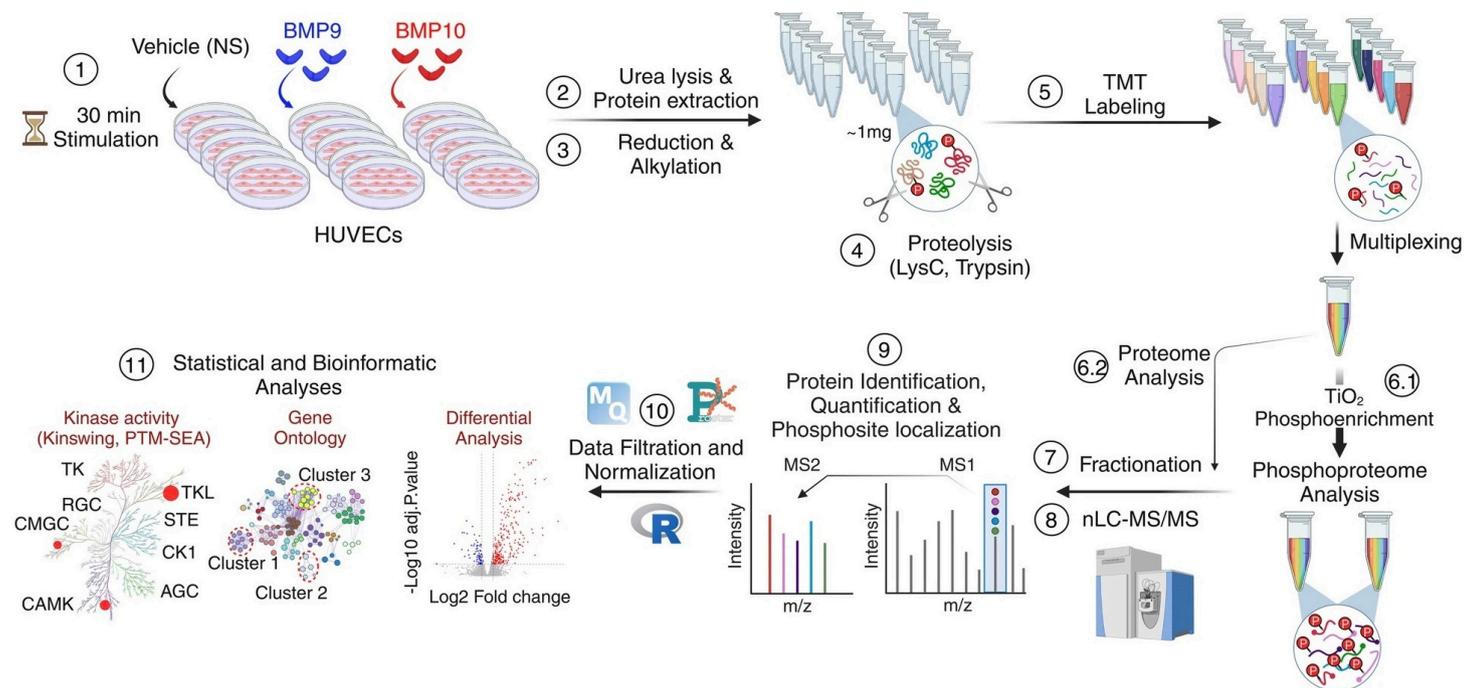


Figure : Des cellules endothéliales sont stimulées avec les protéines BMP9 ou BMP10 puis traitées pour être analysées par une approche phospho-protéomique basée sur la spectrométrie de masse suivie par des analyses bioinformatiques afin d'identifier les protéines différemment phosphorylées et caractériser les de nouvelles voies de signalisation.

- (1) Les cellules endothéliales humaines de cordon ombilical (HUVEC) ont été stimulées ou non (NS) avec 10 ng/mL de BMP9 ou BMP10 pendant 30 min.
- (2) Des lysats de cinq réplicats biologiques par condition ont été préparés et
- (3) soumis à une réduction et une alkylation, suivies d'une
- (4) digestion en utilisant une combinaison de deux endoprotéinases, LysC et trypsine.
- (5) Les peptides résultants ont été marqués avec des réactifs de marquage de masse en tandem (TMT) et regroupés pour l'analyse.
- (6.1) Les peptides phosphorylés ont ensuite été enrichis à l'aide de billes de dioxyde de titane (TiO2)
- (6.2) tandis qu'une petite partie des échantillons regroupés a été réservée à l'analyse protéomique
- (7-8) Les échantillons de protéome et de phospho-protéome ont été fractionnés et analysés par chromatographie liquide et spectrométrie de masse en tandem (LC-MS/MS).
- (9-11) L'analyse des données a ensuite été réalisée à l'aide de différents outils bioinformatiques. © CEA

La spore bactérienne revêt son armure

Sous l'effet d'un stress, certaines bactéries peuvent former des spores, structures qui correspondent à un état de dormance. Ces spores sont capables de résister à des stress multiples comme l'exposition aux antibiotiques, à des désinfectants, aux irradiations ou à de fortes températures. Ces propriétés peuvent être avantageuses (probiotiques), ou poser un problème de santé publique, de sécurité alimentaire ou de menace bioterroriste lorsqu'il s'agit de spores de bactéries pathogènes. La résistance des spores est obtenue grâce à des assemblages intracellulaires (ex : structure cristalline du chromosome) et extracellulaires (ex : épais manteau protéique) qui protègent la cellule et son matériel génétique. La structure et la nature de ces assemblages restent à être élucidés en détail.

Cécile Morlot | IBS |
Institut de biologie structurale

Afin d'étudier la formation des structures protectrices de la spore, des chercheurs de l'Irig, en collaboration avec le synchrotron ESRF de Grenoble et le Central European Institute of Technology en République Tchèque, ont analysé des bactéries sporulantes en cryo-tomographie électronique, réalisée sur des lamelles de cellules obtenues par faisceaux d'ions et à température cryogénique (cryo-FIB). Ces travaux ont révélé qu'au cours du développement de la spore, le chromosome forme un tore de nanofibres et que les protéines du manteau se déposent en couches de composition et d'architecture distinctes.

Ces travaux initient l'étude à haute résolution des macromolécules essentielles à la formation des spores, offrant une meilleure compréhension de leur exceptionnelle résilience.

RÉFÉRENCE

BAUDA E, GALLET B, MORAVCOVA J, EFFANTIN G, CHAN H, NOVACEK J, JOUNEAU PH, RODRIGUES, CDAR, SCHOEHN G, MORISCOT C and MORLOT C.
Ultrastructure of Macromolecular Assemblies Contributing to Bacterial Spore Resistance Revealed by in Situ Cryo-Electron Tomography
Nature Communications 2024

Financements

- ANR (projet FRISBI) et école doctorale de l'Université Grenoble Alpes (projet GRAL)
- Région Auvergne-Rhône-Alpes
- Fondation Recherche Médicale
- Université Grenoble Alpes
- Fonds FEDER
- GIS-Infrastructures en Biologie Santé et Agronomie
- MEYS CR et le Fonds européen de développement régional (Projet UP)
- Programme Horizon 2020 de la Commission européenne (Instruct-ERIC et iNEXT-Discovery)

Collaborations

- Centre Instruct-ERIC de Grenoble (CNRS-CEA-UGA-EMBL) dans le cadre du Partenariat de Grenoble pour la Biologie Structurale
- ESRF de Grenoble
- Central European Institute of Technology (République Tchèque)
- Centre Instruct-CZ (République Tchèque)

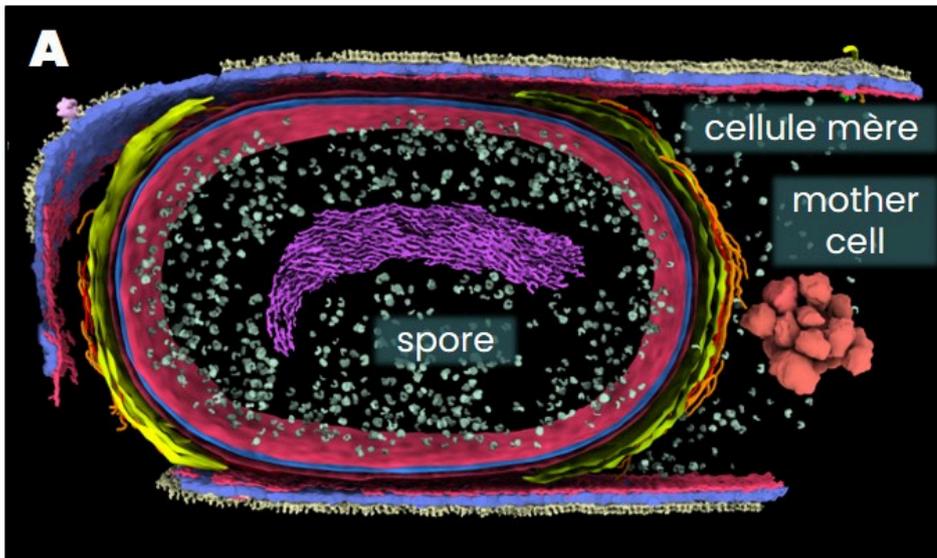
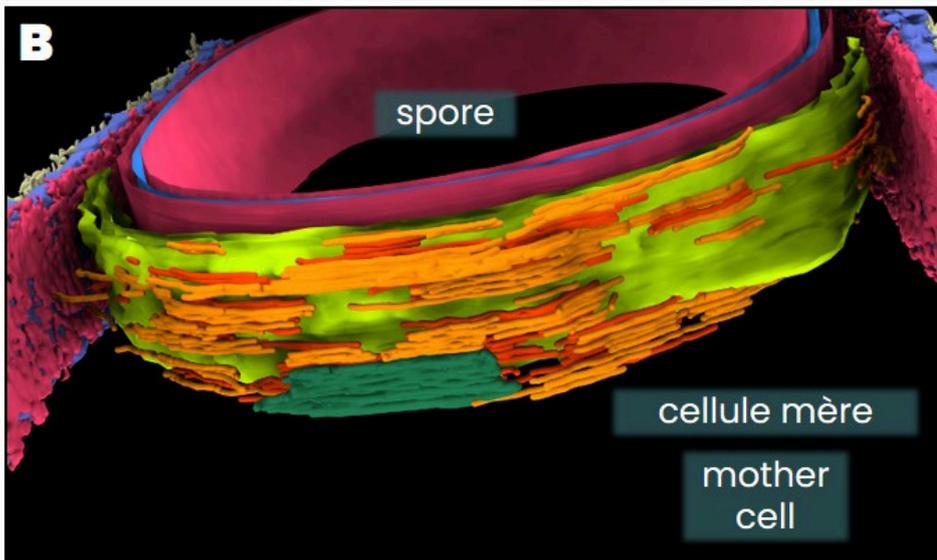


Figure : Spore en cours de développement au sein d'une cellule mère. La segmentation des différentes structures cellulaires observées par cryo-FIB-tomographie révèle divers éléments de l'enveloppe de la cellule mère et de la spore (membranes en magenta, paroi en bleu, sucres de surface en vert clair), des granules de nature inconnue (en saumon) et les ribosomes (en vert clair).

Image A, le chromosome de la spore est coloré en violet.

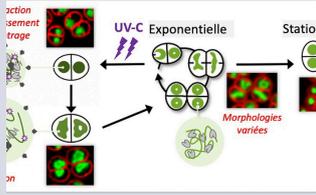
Image B, les couches naissantes du manteau protéique de la spore sont colorées en jaune, orange, rouge et vert foncé.

© CEA



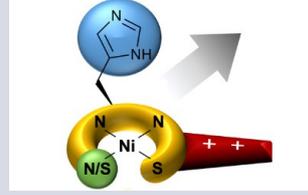


Autres faits marquants des laboratoires



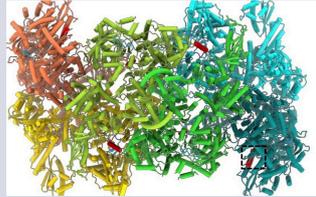
Remodelage du nucleoïde et variation de la dynamique de la protéine HU chez *Deinococcus radiodurans* en réponse au stress

[Lire site IBS](#)



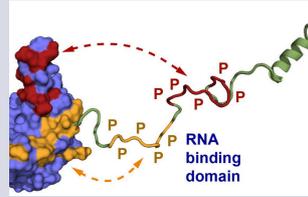
Pour mettre au point des mimes peptidiques exceptionnels de la nickel superoxyde dismutase, soyez positifs !

[Lire site SyMMES](#)



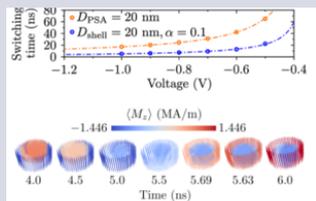
Structure complète de la polymérase du virus Hantaan dans 3 états oligomériques distincts

[Lire site IBS](#)



Comment l'hyperphosphorylation du domaine désordonné de la protéine de la nucléocapside du SARS-CoV-2 inhibe la liaison à l'ARN

[Lire site IBS](#)



A dipolar core-shell perpendicular shape anisotropy memory cell.

Le cœur-coquille dans une cellule mémoire spintronique 3D

[Lire site Spintec](#)

Biosciences et Bioingénierie pour la Santé

Unité Inserm
CEA-Inserm-UGA
www.BGE-lab.fr

Biologie et Biotechnologie pour la Santé

UMR
CEA-Inserm-UGA
biosante-lab.fr

Chimie et Biologie des Métaux

UMR
CEA-CNRS-UGA
www.CBM-lab.fr

Institut de Biologie Structurale

UMR
CEA-CNRS-UGA
www.IBS.fr

Modélisation et Exploration des Matériaux

UMR
CEA-UGA
www.MEM-lab.fr

Photonique Électronique et Ingénierie Quantiques

UMR
CEA-UGA
www.pheliqs.fr

Physiologie Cellulaire & Végétale

UMR
CEA-CNRS-UGA-INRAE
www.LPCV.fr

Département des Systèmes Basses Températures

UMR
CEA-UGA
www.d-SBT.fr

Spintronique et Technologie des Composants

UMR
CEA-CNRS-UGA-G INP
www.Spintec.fr

Systèmes Moléculaires et nanoMatériaux pour l'Énergie et la Santé

UMR
CEA-CNRS-UGA
www.Symmes.fr

irig.cea.fr



Institut de recherche interdisciplinaire de Grenoble

CEA
38054 Grenoble cedex 9

Responsables

Pascale Bayle-Guillemaud
et Annie Andrieux

Directrice de la publication
Pascale Bayle-Guillemaud

Editeur et format électronique
Alain Farchi

Comité de rédaction

Murielle Chavarot-Kerlidou, Georg Knebel,
Yohann Couté, Thierry Douki, Hanako
Okuno, Vincent Baltz, Sabine Bailly, Cécile
Morlot, Alain Farchi

