

Lettre scientifique

ETE 2025

Quand le soleil menace, les organismes photosynthétiques sortent leur bouclier

par Guillaume Allorent - [Laboratoire Physiologie Cellulaire & Végétale](#)

Les organismes photosynthétiques produisent de la matière organique à partir de l'énergie lumineuse grâce à la photosynthèse. Ce processus libère également du dioxygène O₂ à la suite d'une réaction photochimique catalysée par un complexe protéique dimérique appelé photosystème II (PSII). Toutefois, lorsque l'intensité lumineuse dépasse la capacité d'absorption du PSII, ce dernier peut être endommagé, voire détruit. Il doit alors être réparé en passant par une forme intermédiaire monomérique, elle-même vulnérable au stress lumineux mais dont les mécanismes assurant sa protection restaient jusqu'ici mal compris.

Grâce à des approches de **crosslinking*** couplées à la spectrométrie de masse, les chercheurs ont montré qu'une protéine nommée « Light Harvesting complex-Like 4 » (LHL4), induite en présence d'UV-B et sous stress lumineux, se fixait spécifiquement sur le PSII monomérique en cours d'assemblage. En combinant différentes approches (analyses photophysologiques et génétiques), ils ont ainsi pu démontrer que cette protéine jouait un rôle crucial en protégeant cette forme transitoire sous stress lumineux et que son absence limitait la synthèse de nouveaux PSII fonctionnels, conduisant à terme à la mort cellulaire.

Cette découverte met en lumière un nouvel acteur clé de la protection des photosystèmes, ouvrant la voie à des stratégies pour renforcer l'efficacité et la résilience des organismes photosynthétiques face au stress lumineux. Des recherches sont en cours pour élucider les mécanismes précis de cette protection.

Crosslinking* : processus de formation de liaisons covalentes entre des molécules.

Collaboration

- IRIG/BGE/EdYP
- Université de Genève (Suisse)

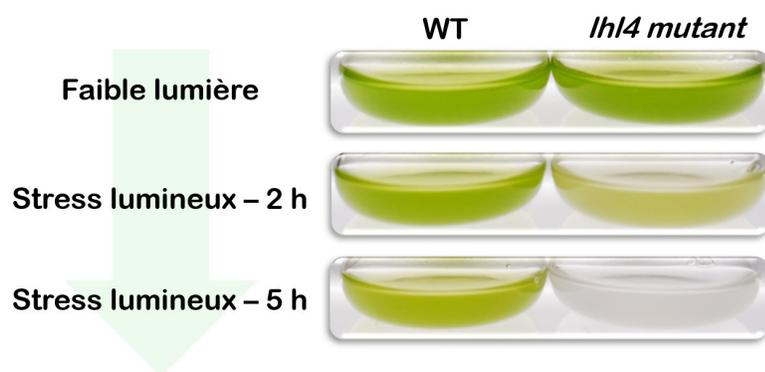
Financements

- IDEX Université Grenoble Alpes International Strategic Partnership grant (project Signalling UV-B to protect Photosynthesis)
- CNRS Momentum
- Université de Genève (Suisse)

REFERENCE

Dannay M, Bertin C, Cavallari E, Albanese P, Tolleter D, Giustini C, Menneteau M, Brugière S, Couté Y, Finazzi G, Demarsy E, Ulm R and Allorent G.

Photoreceptor-induced LHL4 protects the photosystem II monomer in *Chlamydomonas reinhardtii*
[Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.](#) 2025



Photographie de cultures liquides des souches sauvage (WT) et mutante *lhl4* de la microalgue *Chlamydomonas reinhardtii*. Sous faible lumière, les deux cultures présentent une coloration verte caractéristique. Cependant, en condition de stress lumineux, la souche *lhl4* meurt rapidement, incapable d'activer des mécanismes de protection contre les dommages induits par la lumière. La culture devient alors progressivement transparente.

Dispositif bio-hybride pour la synthèse de carburants verts

par Christine Cavazza - [Laboratoire Chimie et Biologie des Métaux](#)

Aujourd'hui, il est essentiel de concevoir de nouveaux catalyseurs à la fois performants et respectueux de l'environnement comme alternatives à certains procédés industriels. À titre d'exemple, la réaction du gaz à l'eau (Water-Gas Shift Reaction WGSR : $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$) utilise des catalyseurs industriels fonctionnant à hautes pression et température. Cette réaction, qui permet d'enrichir les gaz de synthèse issus de la pétrochimie en H_2 pour la synthèse de carburants liquides, est présente naturellement chez certaines bactéries. Dans ces organismes, la réaction est catalysée par deux enzymes : la CO déshydrogénase (CODH) et une hydrogénase. Ainsi, l'objectif des chercheurs du **CEA-Irig/LCBM** est de développer des dispositifs enzymatiques efficaces et innovants.

Les gaz de synthèse ou syngaz, composés majoritairement de CO, H_2 et CO_2 présentent un intérêt majeur pour la synthèse de carburants liquides et de molécules chimiques, en servant d'intermédiaires polyvalents dans des procédés tels que la synthèse de Fischer-Tropsch, où le ratio H_2/CO joue un rôle crucial dans l'efficacité et la sélectivité des réactions. La réaction du gaz à l'eau (Water-Gas Shift Reaction WGSR) permet d'ajuster ce ratio en convertissant du CO et de l'eau en CO_2 et H_2 optimisant ainsi la composition du syngaz selon les besoins du procédé. Par exemple, la synthèse de méthanol requiert un ratio $1\text{CO}/2\text{H}_2$ alors que le ratio typique dans les gaz de synthèse est d'environ 0.3. La réaction WGSR ($\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$) est catalysée en deux étapes : l'oxydation du CO ($\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{e}^- + 2\text{H}^+$) et la réduction des protons en H_2 ($2\text{e}^- + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2$). L'objectif de ce travail était de concevoir un système bicatalytique associant une

enzyme et un complexe moléculaire : une monoxyde de carbone déshydrogénase (CODH) capable d'oxyder le CO en CO_2 couplée à un catalyseur bio-inspiré à base de nickel, efficace pour la réduction des protons en H_2 . La CODH a d'abord été caractérisée à l'échelle moléculaire, puis intégrée dans un système bio-hybride où les deux catalyseurs sont immobilisés sur des nanotubes de carbone. Ces derniers jouent un rôle crucial en facilitant le transfert d'électrons entre les deux catalyseurs, ce qui accélère la conversion du CO en CO_2 et la production simultanée d'hydrogène (voir **figure**).

Grâce à la haute tolérance au CO du complexe au nickel, ce système biohybride innovant affiche d'excellentes performances. Il atteint une conversion complète (100 %) et une vitesse de réaction maximale de 30 s^{-1} pour la réaction WGSR, et ce, à température et pression ambiantes et en absence d'apport d'énergie externe, que le substrat soit du CO pur ou un gaz de synthèse.

Le dispositif développé dans cette étude constitue une première preuve de concept. L'un des enjeux majeurs réside dans le développement de procédés de type Power-to-Syngas, visant à produire du gaz de synthèse à partir d'eau, de CO_2 et d'énergie renouvelable, en optimisant la réaction dans le sens inverse. À titre d'exemple, l'électrolyse de l'eau peut être couplée à la réaction WGSR inverse : $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \leftrightarrow \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$. Dans ce contexte, l'optimisation de la réaction WGSR ou son inverse, s'impose comme un axe de recherche prometteur en catalyse pour une chimie durable. Elle ouvre des perspectives pour le développement de procédés de valorisation du CO_2 de la biomasse et des déchets, en lien avec les objectifs d'une économie circulaire du carbone.

Financements

- Programme NTE CEA
- Programme ECC CEA
- PEPR SpleenProjet POWERCO2

Collaborations

- Département de Chimie Moléculaire, UGA, Grenoble
- Laboratoire de Bioénergétique et Ingénierie des protéines, CNRS Marseille

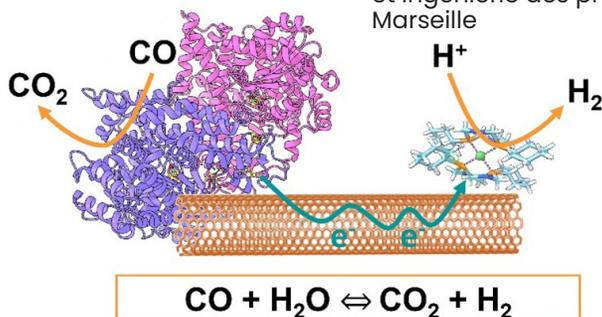


Figure : dispositif bio-hybride pour la réaction WGSR couplant une enzyme, un complexe bio-inspiré et des nanotubes de carbone. © CEA

REFERENCES

- [1] PICHON T, RIGHETTI C, PERARD J, LE GOFF A and CAVAZZA C. From two-component enzyme complex to nanobiohybrid for energy-efficient water-gas shift reaction *Chemical science* 2025
- [2] CONTALDO U, GUIGLARELLI B, PERARD J, PICHON T, LE GOFF A and CAVAZZA C. Insights into the role of the D-cluster in [NiFe]-CODH from *Rhodospirillum rubrum* chemistry *A European journal* 2025

Structure magnétique d'une couche mince par diffraction neutronique : un défi relevé

par **Ketty Beauvois** - [Laboratoire Modélisation et Exploration des Matériaux](#)

Les oxydes de manganèse présentent des propriétés magnétiques et électroniques prometteuses pour la spintronique (électronique exploitant le spin des électrons). Les propriétés magnétiques de ces matériaux en couches minces dépendent des contraintes du substrat sur lequel les couches sont déposées. Il est donc indispensable de caractériser précisément leur ordre magnétique, afin de les exploiter pour des applications (mémoires magnétiques MRAM, capteurs). Or déterminer cette structure à l'échelle nanométrique reste un défi technique majeur.

Pour surmonter ces obstacles, l'équipe a combiné :

- Des mesures macroscopiques (**SQUID***)
- La diffraction sur la ligne neutronique **D10*** (récemment optimisée à l'Institut Laue Langevin).

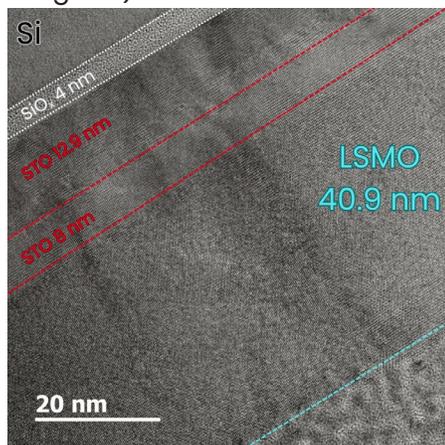


Image 1 : vue en coupe par microscopie électronique du film mince de LSMO déposé sur du silicium, avec une couche tampon de SrTiO₃ (STO). © CEA

Grâce à sa configuration 4-cercles, et dotée de son analyseur, la ligne **D10*** a permis d'isoler le signal magnétique d'un film mince de LSMO (40,9 nm d'épaisseur, 5x5 mm de côté) déposé sur du silicium avec une couche tampon de SrTiO₃ (STO) (voir **image 1**). Cette analyse a pu être réalisée malgré la très faible quantité de matière du film et le bruit de fond du substrat.

En dessous de 260 K :

- Le film subit une transition de phase paramagnétique à ferromagnétique.
- Les moments magnétiques s'alignent majoritairement dans le plan (ab), avec une faible composante hors-plan (voir **Figure 2**). La diffraction neutronique a permis de déterminer précisément les valeurs des composantes dans le plan et en dehors du plan : $m = (3,5, 0, 0,3) \mu\text{B}$.
- La structure trouvée est distincte du LSMO massif (orientation [111]) et des films très minces (phases mixtes).

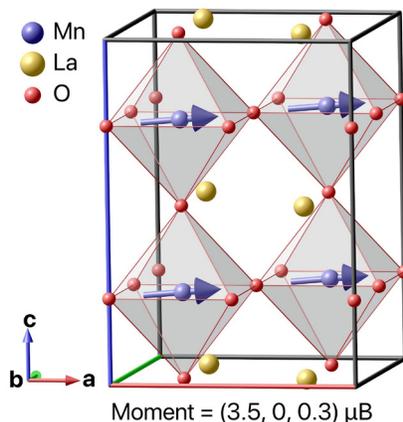


Figure 2 : Structure magnétique de LSMO déterminée dans cette étude. Les moments magnétiques sont portés par les manganèses (Mn) et représentés par des flèches bleues.

Les résultats montrent que l'épaisseur contrôle l'ordre magnétique (du nm jusqu'au matériau massif). Il s'agit d'une donnée cruciale pour l'ingénierie des matériaux et la preuve directe

que les contraintes du substrat dictent l'anisotropie magnétique des couches minces. Cela ouvre la voie vers des dispositifs spintroniques optimisés grâce au contrôle précis de l'orientation des moments.

Cette étude démontre avec succès que la diffraction neutronique peut résoudre des structures magnétiques de couches minces. En relevant ce défi technique, elle offre un outil unique pour la spintronique, où la connaissance précise de l'anisotropie magnétique est un verrou industriel. L'optimisation de l'instrument D10 ouvre désormais la voie à l'exploration de nouveaux matériaux quantiques nanostructurés.

SQUID* (Superconducting Quantum Interference Device) : le magnétomètre SQUID permet de mesurer avec une grande sensibilité le moment magnétique d'un échantillon en fonction du champ magnétique (statique et/ou alternatif) et de la température.

La ligne D10* possède le seul diffractomètre à quatre cercles capable de proposer en option une analyse de l'énergie, comparé aux spectromètres à trois axes. La ligne dispose également d'un cryostat à dilution unique pour descendre en températures jusqu'à 0,1K.

REFERENCE

H. Himanshu, E. Rebolini, K. Beauvois et al.

Nuclear and magnetic structure of an epitaxial La_{0.67}Sr_{0.33}MnO₃ film using diffraction methods
[Thin solid film](#) 2024

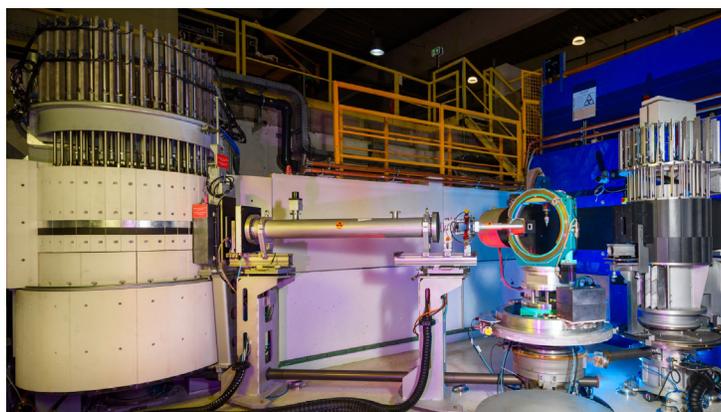


Photo 3 : [ligne neutronique D10+](#) © L. Thion - ILL.

Premier pas vers la bio-détection *in vivo*

par Elodie Engel - [Laboratoire Systèmes Moléculaires et nanoMatériaux pour l'Énergie et la Santé](#)

Afin d'analyser des tissus biologiques lésés, les médecins pratiquent des biopsies, mais ce sont des procédures invasives et douloureuses qui demandent du temps pour obtenir les résultats. Pour remplacer les biopsies, les chercheurs envisagent l'utilisation de fibres optiques, aux propriétés optiques remarquables, compactes et flexibles, jusqu'alors cantonnées à l'imagerie de tissus biologiques *in vivo*.

Une équipe du **CEA-Irig/SYMMES** a développé un biocapteur à base de fibres optiques **fonctionnalisées*** capable de détecter des interactions biologiques à distance et en temps réel.

L'un des défis consistait à réaliser plusieurs détections biologiques simultanément. En effet, pour envisager des détections en milieu complexe tel qu'*in vivo*, il est nécessaire de disposer de répliques et de contrôles négatifs pour s'affranchir des phénomènes parasites d'adsorption, ou de changement de température. La détection multiplexée a nécessité de fonctionnaliser les extrémités des fibres optiques regroupées dans un assemblage rigide de 1,6 mm de diamètre. La fonctionnalisation est réalisée avec deux réseaux de gouttes comportant deux brins d'ADN différents : un brin ADN pour le contrôle négatif, et l'autre brin pour suivre en temps réel l'**hybridation*** avec son complémentaire. Le suivi est basé sur les interférences lumineuses se produisant dans la fibre optique (cf. **figure**).

Cette preuve de concept est un premier pas vers des analyses *in situ* par bio-détection. Il faudra ensuite augmenter le nombre de cibles détectées, améliorer la sensibilité d'assemblages de fibres plus compacts et flexibles compatibles avec les analyses *in vivo*.

Fonctionnalisation* : greffage de molécules sur une surface permettant de lui conférer des capacités de bio-détection (reconnaissance de cibles biologiques).

Hybridation* : appariement se produisant lorsque deux brins d'ADN ayant des séquences complémentaires se rencontrent

Financements

- CNRS : programmes de recherche exploratoire interdisciplinaires MITI
- Université Grenoble Alpes : programmes de recherche exploratoire et émergente IRS et IRGA.
- CEA : thèse PHARE
- Labex LANEF
- Labex ARCANE
- Europe : projet HoliFAB
- Fonds régionaux européens FEDER et Région française Occitanie : projet MultiFAB

Collaboration

- LAAS - Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes, Toulouse

REFERENCE

BRATASH O, COURSON R, MALAQUIN L, LEICHLÉ T, BUHOT A, LEROY L and ENGEL E. **Multiplexed bio-détection on an interferometric optical waveguide assembly** *Advanced Materials Interfaces* 2025

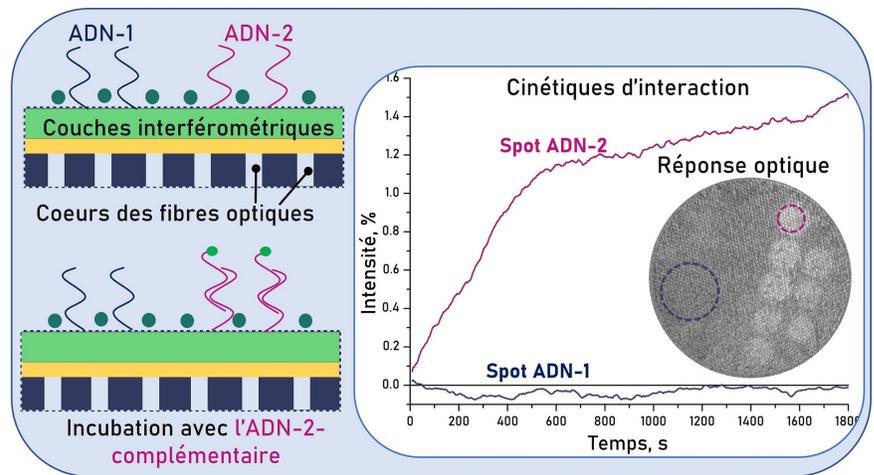


Figure : à gauche (en haut), schéma de la fonctionnalisation de l'extrémité de l'assemblage de fibres optiques avec des brins d'ADN-1 et d'ADN-2. A gauche (en bas), hybridation de l'ADN-2 avec son brin complémentaire. A droite, suivi en temps réel du signal dans deux spots: spot ADN-1 = contrôle négatif. Spot ADN-2 = augmentation du signal due à l'hybridation avec le brin complémentaire.

Encart : vu d'ensemble de l'intensité du signal après détection du brin complémentaire (seul les spots ADN-2 s'allument). © CEA.

Dichroïsme magnétique hélicoïdal au service de la dynamique ultra-rapide des vortex magnétiques

par Liliana Buda-Prejbeanu – [Laboratoire Spintronique et Technologie des Composants](#)

Diverses applications en spintronique, comme les capteurs ou les mémoires magnétiques, exploitent les vortex magnétiques, qui consistent en des distributions circulaires d'aimantation. Les chercheurs étudient la dynamique ultra-rapide de ces vortex pour la manipulation et le contrôle des états magnétiques à l'échelle nanométrique.

Dans un matériau magnétique, une impulsion laser infrarouge provoque une perte transitoire de l'aimantation, déclenchée par une redistribution de l'énergie entre les électrons, les phonons et les spins. Cependant, la réponse de l'aimantation des structures magnétiques complexes telles que les vortex est difficile à caractériser. Les chercheurs ont mis en œuvre une méthode innovante pour sonder la vorticité de l'aimantation à l'échelle de la picoseconde grâce au dichroïsme magnétique hélicoïdal (MHD).

Dans l'expérience menée au laboratoire FERMI à Trieste (Italie) une première impulsion laser infrarouge femtoseconde est appliquée sur un pilier magnétique posé sur un substrat en silicium. Cela permet d'exciter thermiquement un vortex magnétique de diamètre micrométrique. Après un délai contrôlé, une seconde impulsion laser à plus haute énergie (extrême UV) portant un moment angulaire orbital sonde la structure magnétique. Les chercheurs ont montré qu'il est possible de suivre l'évolution du vortex magnétique grâce à son interaction avec la lumière par l'effet du dichroïsme magnétique hélicoïdal MHD, en inversant le sens de rotation du vortex puis en comparant la diffusion de la lumière extrême UV.

Les résultats révèlent une dynamique complexe, avec des modifications du vortex dans son épaisseur, avec même une inversion temporaire de son sens en surface. Cette mesure directe et résolue en temps, apporte un nouvel éclairage sur les mécanismes fondamentaux de la dynamique ultrarapide, encore mal compris.

Dans le cadre de cette étude, le laboratoire du **CEA-Irig/SPINTEC** a élaboré les échantillons étudiés puis il a effectué des simulations micromagnétiques qui ont permis de corroborer les résultats expérimentaux et de fournir ainsi une interprétation théorique aux résultats observés.

Ce travail montre l'intérêt du dichroïsme hélicoïdal résolu en temps comme nouvelle méthode de caractérisation magnétique. Il ouvre la voie à une meilleure compréhension des processus

physiques associés à l'écriture et à la manipulation de l'information magnétique à des échelles spatio-temporelles nanométriques et femtosecondes

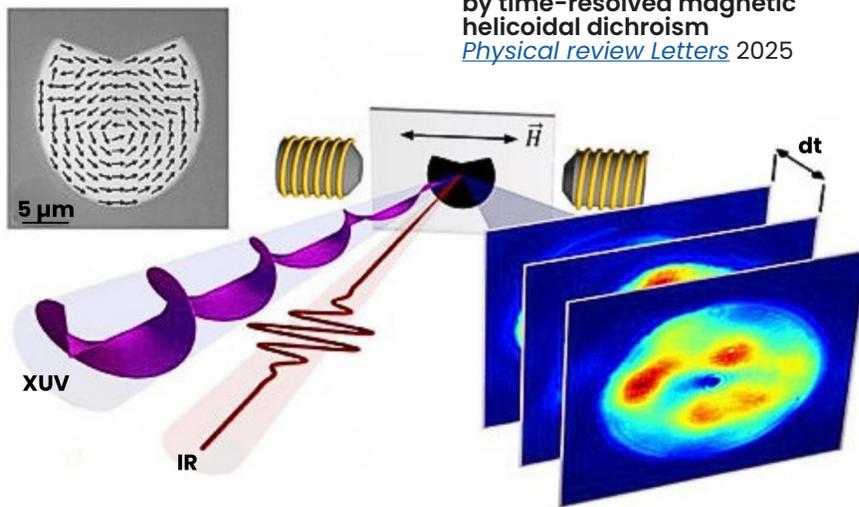
Collaboration

- New Technologies Research Center, Université West Bohemia, République Tchèque
- Elettra-Sincrotrone Trieste, Trieste, Italie
- Department of Molecular Sciences and Nanosystems, Université de Venise, Italie
- Sorbonne Université, CNRS, Institut des NanoSciences de Paris, France
- Laboratory of Quantum Optics, Université Nova Gorica, Slovénie
- Center for Photon Science, Paul Scherrer Institute, Suisse
- Synchrotron SOLEIL, Gif-sur-Yvette, France

REFERENCES

M. Fanciulli, M. Pancaldi, A.-E. Stanciu, M. Guer, E. Pedersoli, D. De Angelis, P. R. Ribič, D. Bresteau, M. Luttmann, P. Carrara, A. Ravindran, B. Rösner, C. David, C. Spezzani, M. Manfredda, R. Sousa, L. Vila, I. L. Prejbeanu, L. D. Buda-Prejbeanu, B. Dieny, G. De Ninno, F. Capotondi, T. Ruchon and M. Sacchi

Magnetic vortex dynamics probed by time-resolved magnetic helicoidal dichroism
Physical review Letters 2025



Dispositif expérimental : au centre, une première impulsion courte IR excite l'aimantation du vortex magnétique dans un plot de permalloy (forme dite pacman, en gris). Puis, une seconde impulsion laser XUV avec un moment angulaire orbital sonde le système. Ensuite, un champ magnétique H appliqué permet d'inverser le sens de rotation de l'aimantation du vortex. Finalement, les images de diffusion de la lumière avec des zones de différentes couleurs, entre les orientations magnétiques droite et gauche, déterminent le signal de dichroïsme magnétique hélicoïdal, permettant de suivre la dynamique de l'aimantation. © CEA

Transistor supraconducteur à base de germanium en phase et en harmonies

par François Lefloch - [Laboratoire PHotonique Electronique et Ingénierie Quantiques](#)

Depuis plusieurs années, l'équipe LaTEQS du Laboratoire PHELIQS se consacre à l'étude des propriétés électroniques de couches de germanium de quelques nanomètres d'épaisseur intégrées dans un substrat de SiGe.

Ces couches présentent des qualités exceptionnelles, avec des mobilités de porteurs de charges (ici des trous) atteignant plusieurs centaines de milliers de $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ et un libre parcours moyen élastique de l'ordre du micron. Elles sont fabriquées au CEA-Leti sous forme de wafers (disques) de 200 mm de diamètre, puis mises en forme à la Plateforme Technologique Amont (PTA) pour la conception de dispositifs quantiques, tels que les qubits de spin et les transistors supraconducteurs.

Par une série de trois publications récentes et autant de thèses, nous avons mis au point les procédés de fabrication de transistors supraconducteurs, étudié en détails les propriétés du courant non-dissipatif induit par effet de champ dans le canal en germanium et fabriqué notre premier qubit supraconducteur.

Les transistors supraconducteurs que nous concevons, sont constitués d'un canal en germanium (un matériau semi-conducteur) de quelques centaines de nm de long et connecté à deux supraconducteurs en aluminium (source et drain). Le dispositif est complété par une grille électrostatique qui recouvre le canal, permettant le contrôle du courant qui le traverse. Ce fonctionnement est similaire aux transistors silicium utilisés dans les téléphones portables. Nous exploitons les propriétés du germanium à très basse température ($T < 1\text{K}$) lorsque les contacts en aluminium deviennent supraconducteurs. Grâce à la qualité exceptionnelle du contact électrique entre l'aluminium et le germanium, il devient

possible d'induire des corrélations supraconductrices dans le canal, le rendant ainsi lui-même "supraconducteur", c'est-à-dire sans dissipation d'énergie. Nous avons ainsi mis au point un transistor "parfait" qui, dans son état OFF (tension de grille positive), ne conduit pas, et qui, dans son état ON (tension de grille négative), conduit sans résistance. Ce transistor ne génère ainsi aucune dissipation thermique d'origine électrique (effet Joule). L'objectif principal de nos travaux est d'approfondir notre compréhension des propriétés de ce courant non dissipatif (supercourant) et de créer notre premier circuit quantique basé sur ce type de transistor. La mécanique quantique appliquée à ce genre de circuits, nous apprend qu'il existe une relation entre les phases macroscopiques des deux contacts supraconducteurs et l'amplitude du courant (première relation de Josephson). Lorsque le lien entre les deux contacts est une barrière tunnel, cette relation prend la forme d'une fonction sinusoïdale pure. Ce phénomène (effet Josephson) constitue la base des circuits quantiques supraconducteurs comme ceux développés par des compagnies comme Google, IBM, Rigetti, en France, au sein des start-ups Alice&Bob et SilentWave et dans de nombreux laboratoires académiques.

Nous avons récemment démontré que, dans le cas de nos dispositifs appelés en anglais Josephson Field Effect Transistors (JoFET) cette relation est plus complexe et comporte des harmoniques supérieures [1]. Ce phénomène témoigne de la très bonne qualité électrique des interfaces source-drain avec le germanium. Nous avons alors réalisé un premier dispositif composé de deux JoFETs intégrés dans une petite boucle supraconductrice (SQUID) [2]. Par des effets d'interférence obtenus en modulant le flux magnétique à travers cette boucle, il est possible de contrôler

l'amplitude du supercourant et de manipuler ses différentes harmoniques. Nous avons ainsi mis au point l'équivalent d'un JoFET dont la première harmonique peut être réduite de 95 % (voir **figure 2**). Ce phénomène indique que le courant non dissipatif n'est plus transporté par des paires de Cooper mais par des paires de paires, ouvrant la voie à de nouveaux types de qubits supraconducteurs, potentiellement mieux protégés que ceux basés sur des jonctions tunnel.

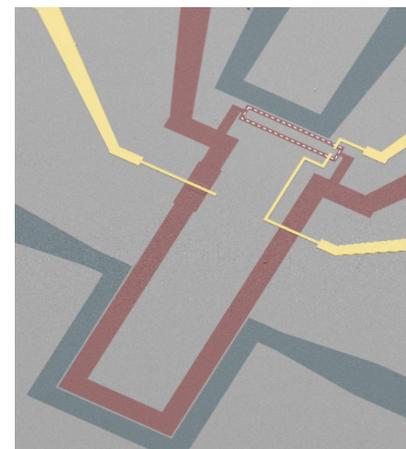


Image obtenue par microscopie électronique à balayage du double SQUID permettant la mesure des harmoniques de la relation courant-phase du dispositif constitué d'une boucle supraconductrice et de deux transistors supraconducteurs en Ge (pointillés).

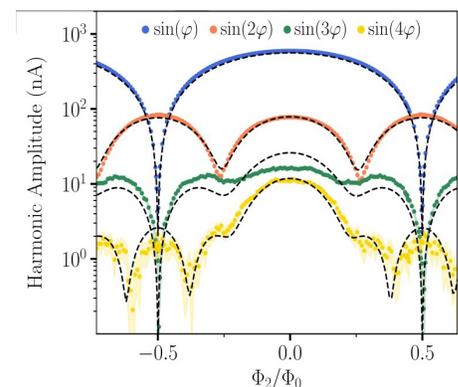


Figure 2 : Les courbes expérimentales montrent la décomposition harmonique ainsi que l'ajustement du modèle en fonction du flux magnétique à travers la boucle.

Dans ce but, nous avons réalisé un premier qubit supraconducteur à partir d'un seul JoFET [3]. La géométrie de ce qubit s'inspire des qubits supraconducteurs à base de jonctions tunnels (transmon), composés d'un îlot supraconducteur relié à un JoFET, lui-même couplé à un résonateur micro-onde pour la lecture de l'état du qubit. Grâce aux techniques de l'électrodynamique quantique des circuits (cQED), nous avons démontré le contrôle cohérent

des états quantiques du qubit à l'aide de signaux micro-ondes. Nous avons également mesuré l'impact du contrôle par grille sur les états du qubit, en évaluant ses temps de cohérence. Bien que ces temps soient encore modestes (de l'ordre de quelques dizaines de nanosecondes), cette avancée ouvre la voie vers des qubits dont la protection et les temps de cohérence devraient être considérablement améliorés.

Financements

Ces études ont été financées, pour partie, par le projet ANR SUNISIDEuP, le PEPR RobustSuperQ et le Labex LANEF.

REFERENCES

- 1 - A. Leblanc et al. **From nonreciprocal to charge-4e supercurrent in Ge-based Josephson devices with tunable harmonic content** *Phys. Rev. Research* 2024
- 2 - A. Leblanc et al. **Gate- and flux-tunable $\sin(2\phi)$ Josephson element with planar-Ge junctions** *Nature Communications* 2025
- 3 - E. Kiyooka et al. **Gate-tunable Qubit on a Germanium Quantum-Well Heterostructure** *Nano Letters* 2025

Améliorer l'imputation des valeurs manquantes en protéomique

par Thomas Burger - [Laboratoire Biosciences et bioingénierie pour la Santé](#)

En science expérimentale, la collecte d'observations peut être affectée par des valeurs manquantes (définies par une absence de mesures pour une observation donnée). Un trop grand nombre de valeurs manquantes pouvant compromettre l'analyse, l'imputation (c'est-à-dire la complétion des données par l'estimation des mesures qui auraient dûes être observées) est dans bien des cas une nécessité et un moindre mal. Cependant, cela est particulièrement difficile en **protéomique***, en raison du nombre de valeurs manquantes, mais aussi de leurs multiples origines.

connues entre biomolécules (protéines et leurs fragments, transcrits, etc.). Enfin, en l'absence de solution analytique à ce problème de maximisation, ils ont implémenté une résolution numérique par réseau de neurones à propagation directe.

L'outil d'imputation ainsi obtenu surpasse toutes les méthodes d'imputation de l'état de l'art, et son utilisation permet d'améliorer significativement les résultats des analyses protéomiques par spectrométrie de masse.

Protéomique* : caractérisation par identification et quantification de l'ensemble des protéines présentes dans un échantillon biologique.

Financements

- Projets ANR :
- ProFI
 - GRAL CBH
 - SECRET
 - DEAP
 - MIAI @ Grenoble Alpes

Collaboration

Laboratoire Recherche Translationnelle et Innovation en Médecine et Complexité (TIMC) Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP

REFERENCE

- L. Etourneau, L. Fancello, S. Wieczorek, N. Varoquaux and T. Burger. **Penalized likelihood optimization for censored missing value imputation in proteomics.** *Biostatistics* 2025.

Des chercheurs du **CEA-Irig/BGE** ont donc proposé un nouveau modèle statistique décrivant conjointement deux types de valeurs manquantes: celles censurées (quand un fragment de protéine n'est pas suffisamment abondant pour être détecté), et celles manquantes aléatoirement (résultant de la non-exhaustivité des instruments). De plus, ils ont montré qu'à partir de ce modèle il est possible de dériver un algorithme d'imputation qui maximise les corrélations

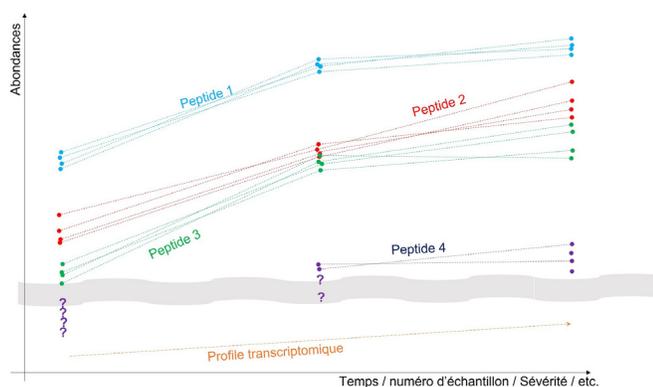


Figure : Illustration schématique de l'usage des corrélations entre différentes biomolécules pour réaliser une imputation de valeurs manquantes : plusieurs peptides provenant d'une même protéine (ainsi qu'éventuellement le transcrit ayant permis sa traduction) devant avoir des profils de mesures corrélés, il est pertinent d'imputer les valeurs manquantes afin de maximiser cette corrélation, comme illustré par l'emplacement des « ? » pour le Peptide 4.

Des protéines fluorescentes qui commutent dans tous les sens

par Dominique Bourgeois - [Institut de Biologie Structurale](#)

Ces dernières années, la microscopie à super-résolution (ou nanoscopie), qui permet d'imaginer par microscopie optique des échantillons biologiques à une résolution nanométrique, a connu un véritable essor. Certaines méthodes de nanoscopie utilisent comme marqueurs des **protéines fluorescentes photo-convertibles*** (PCFPs). L'une de ces méthodes, très répandue, est la Microscopie de Localisation de Molécules Uniques (SMLM). Elle repose sur le principe que les PCFPs sont capables de changer leur émission de fluorescence du vert au rouge sous une illumination à 405 nm. Mais au-delà de cette photo-conversion, les PCFPs ont tendance à commuter de manière réversible entre des états fluorescents et non fluorescents, ce qui peut nuire fortement à la qualité des images obtenues. Les équipes de D. Bourgeois (**IBS/I2SR**) et B. Brutscher (**IBS/RMN**) ont révélé un nouveau mode de photo-commutation de mEos4b, une PCFP très utilisée.

Après photo-conversion, mEos4b (forme rouge) subit une « photo-commutation négative » : elle s'éteint sous la lumière à 561 nm (qui excite la fluorescence) et se réactive sous la lumière à 405 nm. Cette propriété provient d'un changement de conformation photo-induit du chromophore (isomérisation cis-trans), la conformation cis étant la seule capable de fluorescer. En résulte un scintillement marqué des molécules uniques lors de la collecte des données.

Une autre source de scintillement, quasiment imperceptible, a été identifiée et élucidée dans cette étude. Se déroulant sur une échelle de temps plus courte (quelques dizaines de ms versus plusieurs secondes pour la photo-commutation négative), une « photo-commutation positive » est observée : mEos4b sous sa forme

rouge s'éteint sous la lumière à 405 nm et se réactive à 561 nm. Le phénomène s'explique grâce à la Résonance Magnétique Nucléaire (RMN) qui permet de mettre en évidence une hétérogénéité conformationnelle de mEos4b: un état fluorescent rouge stable (R1) prédomine, mais un deuxième état fluorescent rouge beaucoup moins brillant peut apparaître (R2).

La lumière à 405 nm induit le passage de l'état R1 à l'état R2, alors que la lumière à 561 nm rétablit la conformation R1. Par ailleurs, l'étude révèle que la coexistence des deux états R1 et R2 est fortement influencée par les conditions physico-chimiques de l'échantillon (pH, tampon du milieu...).

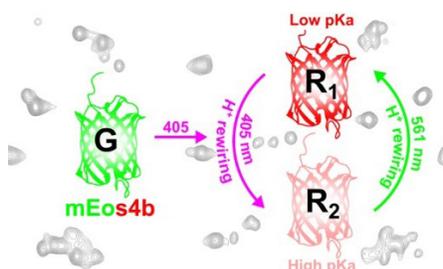


Image 1 : mécanisme de photo-commutation positive de mEos4b.

Grâce à de nombreux développements, la microscopie SMLM s'impose aujourd'hui comme une technique phare de la biologie intégrative, permettant d'aller de la cellule jusqu'à la molécule unique. Bien que de nombreux verrous méthodologiques aient été levés pour améliorer la résolution des images obtenues, l'étude révèle que la grande complexité des propriétés photo-physiques des protéines fluorescentes constitue encore une limite pour l'analyse quantitative de ces images. Toutefois, des pistes restent ouvertes pour optimiser les conditions expérimentales et lever ce nouveau verrou.

protéines fluorescentes photo-convertibles* : protéines fluorescentes dont les propriétés de fluorescence changent de manière irréversible en fonction des conditions d'illumination.

Financements

- iNEXT-Discovery Horizon 2020 program of the European Commission,
- Agence Nationale de la Recherche (grants no. ANR-20-CE11-0013-01, ANR-22-CE13-0046 and ANR-22-CE11-0011-01),
- IR INFRANALYTICS (FR2054) FRISBI (ANR-10-INBS-0005-02) and GRAL, CBH-EUR-GS (ANR-17-EURE-0003)

Collaboration

Irig/SyMMES/Conception d'Architectures Moléculaires et Processus Electroniques (CAMPE)

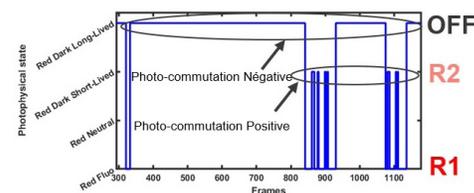


Image 2 : exemple de l'évolution de l'état photo-physique d'une molécule unique de mEos4b au cours du temps, montrant des transitions entre les états R1, R2 et OFF. (D. Bourgeois / IBS)

REFERENCE

Wulfel J, Maity A, Ayala I, Gambarelli S, Brutscher B and Bourgeois D. **Light-Induced Conformational Heterogeneity Induces Positive Photoswitching in Photoconvertible Fluorescent Proteins of the EosFP Family** *Journal of the American chemical Society* 2025

Communiqués - Prix - Autres



Inauguration de la ligne pilote SPINfab au laboratoire SPINTEC

[site Irig](#)



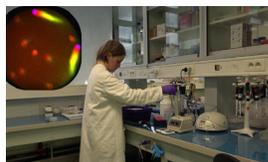
Prix «Materials Chemistry Horizon » 2025 de la Royal Society of Chemistry, décerné à l'équipe de Renaud Demadrille

[site Irig](#)



Marie-Ingrid Richard, lauréate ERC Advanced Grant 2024

[site Irig](#)



Alexandra Colin, lauréate Médaille de Bronze CNRS 2025

[site Irig](#)



Lionel Imbert, lauréat Médaille de Cristal CNRS 2025

[site Irig](#)



Alicia Vallet, lauréate Médaille de Cristal CNRS 2025

[site Irig](#)



Matthieu HAAKE prix de thèse académique 2025

[site Irig](#)



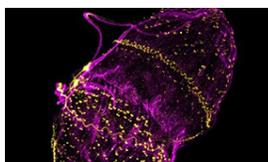
Johanna Fischer Prix EMA jeune scientifique 2025

[site Irig](#)



Les Laboratoires Pierre Fabre et l'Irig célèbrent 25 ans de partenariat au service de la photoprotection

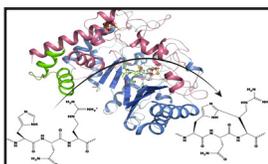
[site Irig](#)



Ni proie, ni partenaire : le plancton qui floute la frontière entre prédation et symbiose

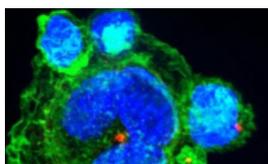
[site Irig](#)

Résultats scientifiques des laboratoires



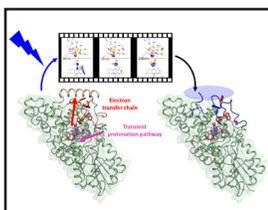
Structure du complexe entre une enzyme à radical SAM et son peptide substrat révélée...

[site IBS](#)



Les cellules leucémiques perdent le nord

[site LPCV](#)



Un film moléculaire dévoile le mécanisme de la photoréception par un cryptochrome

[site IBS](#)

Biosciences et
Bioingénierie pour
la Santé

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

Biologie et
Biotechnologie
pour la Santé

CEA-Inserm-UGA
www.Biosante-lab.fr

Chimie et Biologie
des Métaux

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

Institut de Biologie
Structurale

CEA-CNRS-UGA
www.IBS.fr

Modélisation et
Exploration des
Matériaux

CEA-UGA
www.MEM-lab.fr

Photonique
Electronique
et Ingénierie
Quantiques

CEA-UGA
www.Pheligs.fr

Physiologie
Cellulaire et
Végétale

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

Département des
Systèmes Basses
Températures

CEA-UGA
www.d-SBT.fr

Spintronique
et Technologie
des Composants

CEA-CNRS-UGA
www.Spintec.fr

Systèmes
Moléculaires
et nanoMatériaux
pour l'Énergie et la
Santé

CEA-CNRS-UGA
www.Symmes.fr

irig.cea.fr



Institut de
Recherche
Interdisciplinaire
de Grenoble

CEA
17 Avenue des Martyrs
38054 Grenoble Cedex 9

Directrice de la publication

Pascale Bayle Guillemaud

Editeur et format électronique

Alain Farchi

Comité de rédaction : Guillaume Allorent, Ketty

Beauvois, Dominique Bourgeois, Liliana Buda-

Prejbeanou, Thomas Burger, Christine Cavazza,

Elodie Engel, François Lefloch, Alain Farchi,

Emmanuelle Neumann



Inserm

UGA
Université
Grenoble Alpes

INRAE