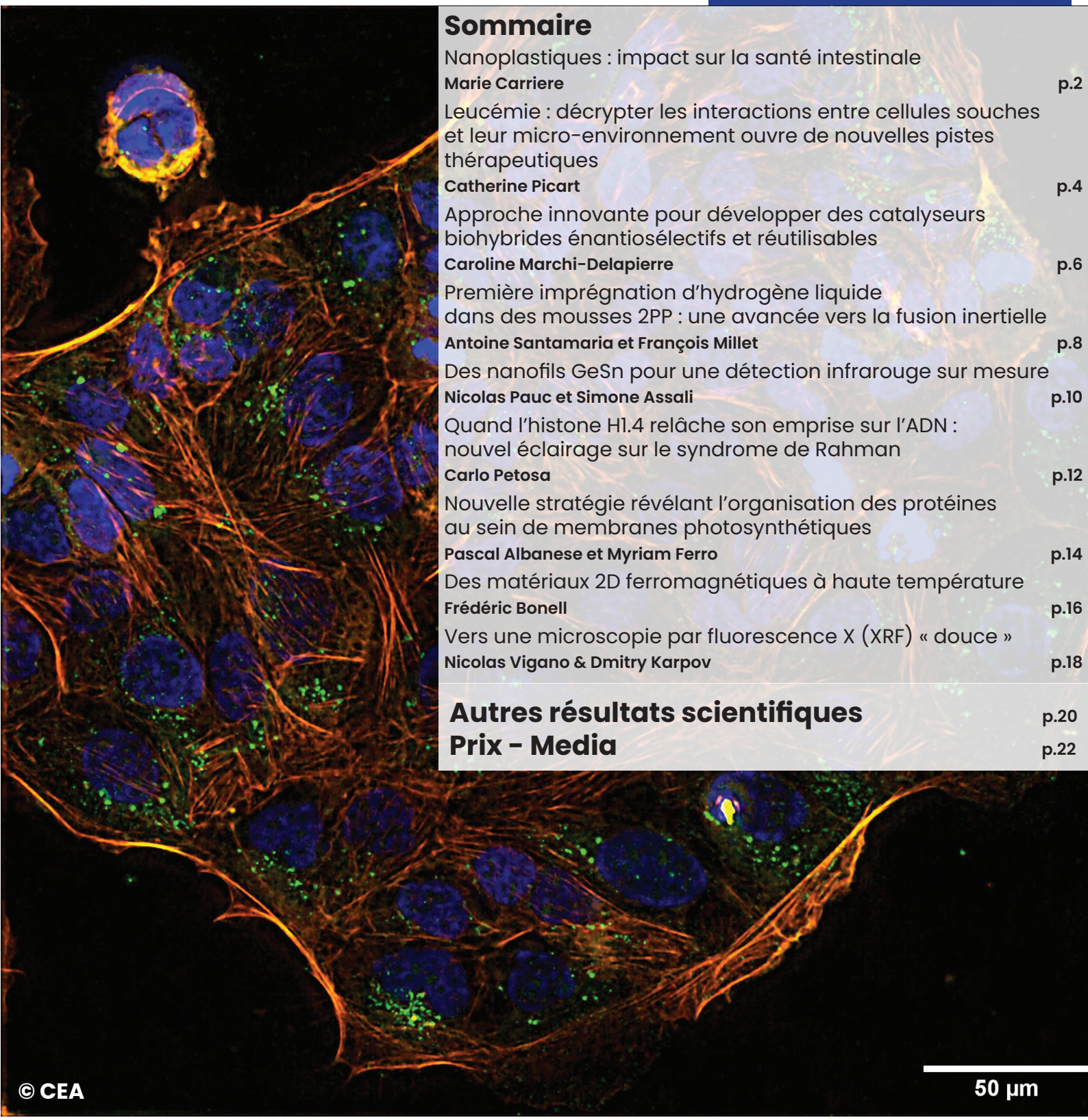
Lettre scientifique

AUTOMNE 2026



Sommaire

Nanoplastiques : impact sur la santé intestinale
Marie Carriere p.2

Leucémie : décrypter les interactions entre cellules souches et leur micro-environnement ouvre de nouvelles pistes thérapeutiques
Catherine Picart p.4

Approche innovante pour développer des catalyseurs biohybrides énantiosélectifs et réutilisables
Caroline Marchi-Delapierre p.6

Première imprégnation d'hydrogène liquide dans des mousses 2PP : une avancée vers la fusion inertielle
Antoine Santamaria et François Millet p.8

Des nanofils GeSn pour une détection infrarouge sur mesure
Nicolas Pauc et Simone Assali p.10

Quand l'histone H1.4 relâche son emprise sur l'ADN : nouvel éclairage sur le syndrome de Rahman
Carlo Petosa p.12

Nouvelle stratégie révélant l'organisation des protéines au sein de membranes photosynthétiques
Pascal Albanese et Myriam Ferro p.14

Des matériaux 2D ferromagnétiques à haute température
Frédéric Bonell p.16

Vers une microscopie par fluorescence X (XRF) « douce »
Nicolas Vigano & Dmitry Karpov p.18

Autres résultats scientifiques p.20

Prix - Media p.22

Nanoplastiques : impact sur la santé intestinale

Marie Carriere
Laboratoire Systèmes Moléculaires et nanoMatériaux pour l'Énergie et la Santé

Issus de la dégradation des déchets plastiques, les micro- et nanoplastiques (MNP) sont désormais présents dans notre eau et notre alimentation. Des chercheurs du CEA-Irig, en collaboration avec des partenaires français et internationaux, ont réalisé une étude menée *in vitro*, qui révèle que ces particules s'accumulent fortement dans les cellules intestinales, sans toutefois provoquer d'effets toxiques majeurs.

L'omniprésence des déchets plastiques dans l'environnement entraine la formation de micro- et nanoplastiques (MNP) que nous ingérons quotidiennement via l'eau et l'alimentation. Leur impact sur la santé humaine, en particulier sur l'épithélium intestinal et chez les populations sensibles, comme les personnes atteintes de la **maladie de Crohn***, reste une préoccupation majeure. Plusieurs études menées au CEA-Irig ont comparé les effets cellulaires de polymères conventionnels (PET, PS) et biodégradables (PLA, PCL), sous forme native ou artificiellement vieillis dans des conditions environnementales, afin d'évaluer leur potentielle toxicité.

À l'aide de modèles in vitro reproduisant l'épithélium intestinal humain de sujets sains ou présentant une prédisposition génétique à la maladie de Crohn, les chercheurs ont montré que les MNPs s'accumulaient fortement dans les cellules (jusqu'à 20 % pour le PET). Malgré cette accumulation, seule une très faible **toxicité aiguë*** a été observée in vitro, que les polymères soient biodégradables ou non. Les travaux révèlent également que le PCL se dégrade à l'intérieur des cellules et y libère des oligomères, dont l'impact reste limité. En outre, le vieillissement des particules, simulant leur exposition prolongée dans l'environnement, n'accroît pas leur toxicité.

En revanche, une de ces études montre qu'in vivo les MNPs de PS altèrent la perméabilité intestinale et y induisent des effets toxiques significatifs. Ces résultats suggèrent que les effets des MNPs observés *in vivo* ne proviennent probablement pas d'une réponse de l'épithélium intestinal. La littérature suggère que le **microbiote*** pourrait participer aux effets des MNPs observés *in vivo*. Utiliser un modèle in vitro plus complexe, reproduisant l'ensemble des lignages cellulaires de l'intestin et incluant le microbiote, pourrait permettre de mieux reproduire in vitro les effets observés *in vivo*..

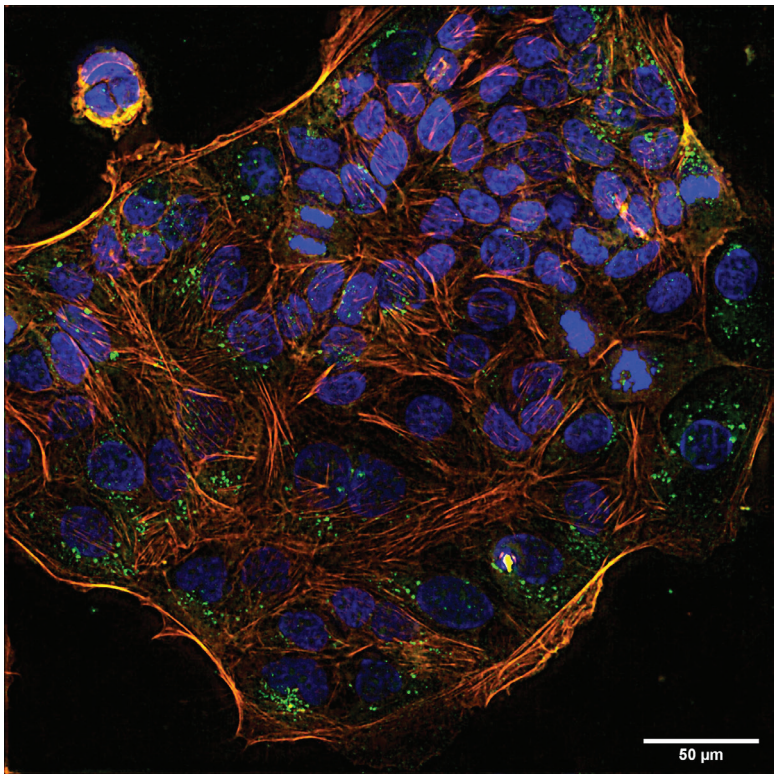


Image de microscopie à fluorescence de cellules épithéliales intestinales exposées à des MNPs de PS fluorescentes vertes. Orange : cytosquelette, bleu : noyau, vert : MNPs.. © CEA

Ces travaux apportent de nouvelles connaissances sur les effets des nanoplastiques – qu'ils soient conventionnels ou biodégradables– sur la barrière intestinale. Alors que les modèles in vitro mettent en évidence des effets globalement modérés sur les cellules épithéliales intestinales, les expériences in vivo révèlent une toxicité plus importante, suggérant que d'autres types cellulaires sont à l'origine des observations *in vivo*. L'évaluation de ces effets sur des modèles de cultures primaires d'épithélium intestinal ou sur des **organoïdes intestinaux*** pourrait permettre de mieux comprendre les mécanismes impliqués. Cette compréhension pourrait alors favoriser le développement de stratégies de prévention et, à terme, de prise en charge adaptée.

Tutelles
Univ. Grenoble Alpes, CEA, CNRS, Grenoble INP - UGA

Collaborations : INSERM Institut de recherche en santé digestive (IRSD), Irig-IBS, Irig-LCBM, Iramis-Lions, Université Autonome de Barcelone

Financements : ANR (PLASTOX), ANSES (EXMINA), PEPR (Recyclage, recyclabilité et ré-utilisation des matières), Union Européenne (PLASTICHEAL)

***Maladie de Crohn :** maladie inflammatoire chronique de l'intestin pouvant altérer la fonction de barrière de l'épithélium intestinal.

***Toxicité aiguë :** effets néfastes (altération de la viabilité) observés lors d'expositions de courte durée à des doses élevées.

***Microbiote :** ensemble des micro-organismes (bactéries, levures, …) vivant dans l'intestin. Il joue un rôle important, notamment lors de la digestio.

*** Organoïdes intestinaux :** structures tridimensionnelles cultivées en laboratoires reproduisant certaines caractéristiques et fonctions de l'intestin, permettant d'étudier son fonctionnement dans des conditions physiologiquement proches.

PET : polyethylene téréphtalate;

PS : polystyrène;

PLA : acide polylactique;

PCL : polycaprolactone.

REFERENCES

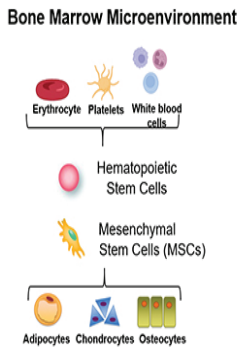
Bard V, Papin M, Boulée M, Berenguer M, Villacorta A, Fenel D, Dusacq E. Marcos R, Hernandez A, Sergent JA, Douki T and Carriere M.
Toxicity of polyethylene terephthalate and polylactic acid nanoplastics, pristine and weathered in environmentally-relevant conditions, to human intestinal cells representative of genetic susceptibility to Crohn's disease
Food and Chemical Toxicology 2026

Boulée M, Bard V, Papin M, Béal D, Devineau S, Fenel D, Dusacq E, Collin-Faure V, Rabilloud T, Douki T and Carriere M.
Toxicity of polycaprolactone nanoplastics, pristine or weathered in environmental conditions, to human intestinal epithelial cells, in vitro.
NanoImpact 2026

Dussol M, Ménard S, Papin M, Boulée M, Bard V, Airaud M, Fenel D, Moriscot C, Barreau F and Carriere M.
Intestinal toxicity of functionalized polystyrene nanoplastics in NOD2 models of Crohn's disease susceptibility.
Front. Toxicol. 2026

Leucémie : décrypter les interactions entre cellules souches et leur micro-environnement ouvre de nouvelles pistes thérapeutiques

Catherine Picart
Laboratoire Biologie et Biotechnologies pour la Santé



La leucémie myéloïde aiguë (LMA) est un cancer agressif qui perturbe l'équilibre de la moelle osseuse. Dans cette étude, des chercheurs du CEA-Irig/BioSanté ont évalué l'impact du micro-environnement leucémique sur les **cellules souches mésenchymateuses*** qui présentent alors des défauts d'adhésion et de différenciation. Ces résultats ouvrent la voie au développement de nouvelles stratégies thérapeutiques.

Dans la leucémie myéloïde aiguë (LMA), la prolifération des cellules leucémiques s'accompagne d'une profonde modification du micro-environnement de la moelle osseuse, favorisant la progression de la maladie. Parmi les acteurs clés de ce micro-environnement figurent les **protéines morphogénétiques osseuses*** (BMPs), qui régulent la différenciation et l'adhésion des cellules en agissant avec leurs récepteurs (**ALK***) et les **intégrines***. En revanche, leurs effets sur les cellules souches mésenchymateuses (CSMs), essentielles au maintien de la moelle osseuse, restent mal connus, alors que leur capacité de différenciation est perturbée dans la LMA.

Dans cette étude, les chercheurs ont cherché à comprendre comment les CSMs s'adaptent à un micro-environnement leucémique enrichi en BMPs. Pour reproduire cet environnement, ils ont développé une matrice biomimétique présentant différentes cytokines de la superfamille TGF-β, comprenant des BMPs (BMP-2, BMP-4, BMP-7, BMP-9) ainsi que TGF-β1. En comparant des CSMs issues de donneurs sains à celles de patients atteints de LMA, ils ont analysé l'activation des voies de signalisation, l'adhésion et l'étalement cellulaires, ainsi que leur capacité à se différencier en cellules osseuses, cartilagineuses et graisseuses. Ils ont mis en évidence trois altérations principales : une activation excessive et persistante de la voie de signalisation, un défaut d'adhésion et une diminution de leur capacité à se différencier.

Les chercheurs ont identifié que ces anomalies étaient dues à un dysfonctionnement des interactions entre le récepteur ALK5 et les intégrines.

Déjà impliqué dans plusieurs cancers, le récepteur ALK5 apparaît comme une cible thérapeutique prometteuse dans la LMA. Les inhibiteurs d'ALK5, actuellement développés pour d'autres cancers, pourraient ainsi être évalués pour le traitement de cette maladie. Par ailleurs, le matériau biomimétique développé et utilisé dans cette étude, qui reproduit le micro-environnement de la moelle osseuse humaine, constitue un nouvel outil pour identifier de nouvelles cibles thérapeutiques, évaluer des traitements existants et développer des modèles précliniques plus représentatifs de la leucémie

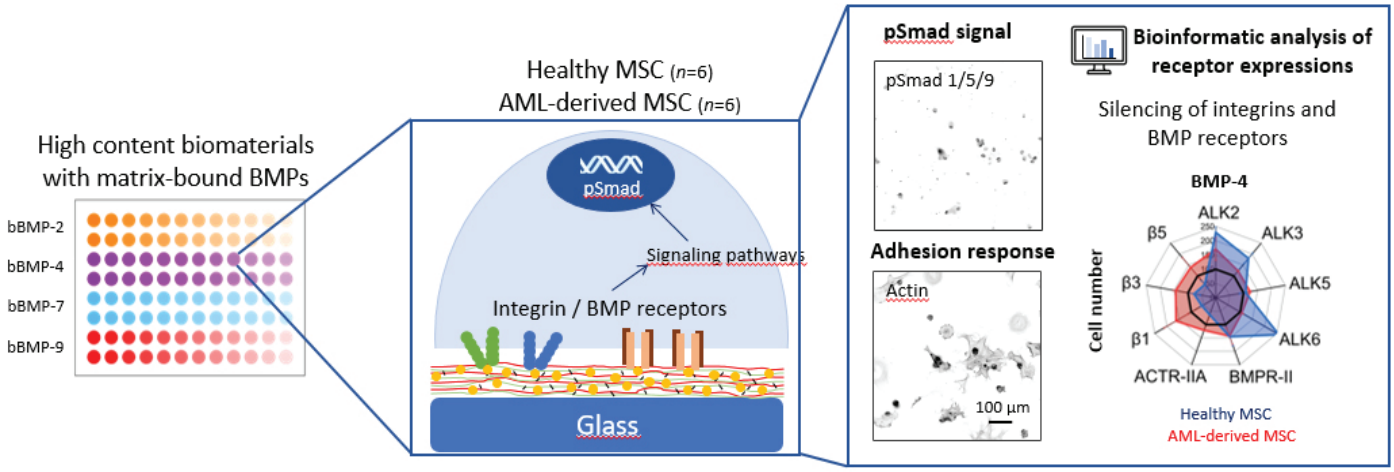


Figure. Matériau biomimétique sur une plaque 96 puits permettant de révéler des altérations des CSMs de patients atteints de leucémie au niveau de la voie de **signalisation pSmad***, de l'adhésion cellulaire et de la différenciation, mettant ainsi en évidence le rôle spécifique des récepteurs BMP et des intégrines β. © CEA- Adapté de la thèse d'I. Arnaldos Perez

signalisation pSmad* : voie de signalisation intracellulaire activée par les protéines de la superfamille TGF-β (dont les BMP), qui régule l'expression de nombreux gènes impliqués dans le développement, la différenciation et le fonctionnement des cellules.

***cellules souches mésenchymateuses (Mesenchymal Stem Cells – CSMs):** cellules souches adultes présentes principalement dans la moelle osseuse, capables de se différencier en plusieurs types cellulaires, notamment les cellules osseuses, cartilagineuses et graisseuses. Elles sécrètent de nombreux facteurs de croissance, cytokines* et protéines de la matrice extracellulaire qui favorisent le renouvellement des cellules sanguines, la réparation des tissus et la modulation de la réponse immunitaire. Elles jouent ainsi un rôle essentiel dans le maintien du micro-environnement de la moelle osseuse.

***protéines morphogénétiques osseuses (Bone Morphogenetic Proteins – BMPs)**: molécules de signalisation appartenant à la superfamille des cytokines* TGF-β (Transforming Growth Factor- β), qui régulent le développement et la différenciation des cellules, notamment dans les tissus osseux.

***cytokines** : protéines de signalisation permettant aux cellules de communiquer entre elles et qui jouent un rôle essentiel dans la régulation des réponses immunitaires, de l'inflammation et de la croissance cellulaire.

***ALK (Activin receptor-Like Kinases)** : récepteurs membranaires de type I qui transmettent les signaux des cytokines de la superfamille TGF-β (dont les BMPs), permettant de réguler la prolifération, la différenciation et l'adhésion des cellules. ALK5 est le récepteur principal de TGF-β1, mais il peut également participer à la signalisation de certaines BMPs (notamment BMP-2, BMP-4, BMP-7 et BMP-9).

***intégrines :** protéines membranaires situées à la surface des cellules qui assurent leur adhésion à leur environnement (matrice extracellulaire). Elles transmettent également des signaux qui influencent le comportement des cellules (croissance, migration, survie, différenciation).

Tutelles UMR : UGA, CEA, CNRS et INSERM (UA13)

Financements : ERC (Bioactive-Coatings GA692924), MSD Avenir, INCa, Région AuRA.

Collaborations : Centre de Recherche en Cancérologie de Lyon (CRCL), Institute for Advanced Biosciences (IAB).

REFERENCE
HArnaldos-Pérez I., Machillot P., Geistlich K., Marchadier L., Maguer Satta V., Migliorini E., Guyon L., Lefort S., Albiges-Rizo C., Picart C. Biomaterials-enabled revelation of sustained p-Smad signaling and abnormal adhesion of leukemia-derived bone marrow stem cells ***Biomaterials*** 2026

Approche innovante pour développer des catalyseurs biohybrides énantiosélectifs et réutilisables

Caroline Marchi-Delapierre
Laboratoire Chimie et Biologie des Métaux

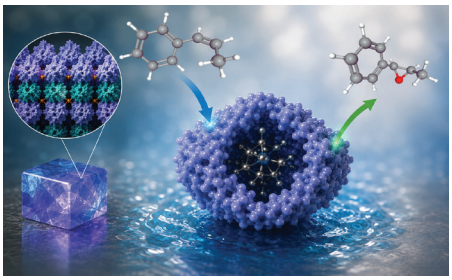


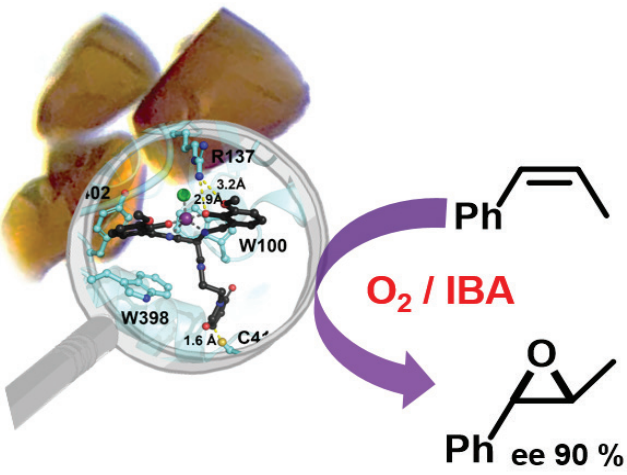
Image générée par IA

Comment rendre des enzymes artificielles à la fois très performantes et recyclables ? Des chercheurs du CEA-Irig/LCBM montrent que des cristaux de protéines peuvent servir de support à des **métalloenzymes artificielles*** capables de réaliser une **époxydation*** avec une excellente **énantiosélectivité***. Une approche qui ouvre de nouvelles perspectives pour la biocatalyse hétérogène.

La biocatalyse s'appuie sur les remarquables propriétés des enzymes pour réaliser des réactions chimiques avec une grande efficacité et une forte sélectivité. Elle constitue un outil de choix pour la synthèse de molécules complexes, notamment lorsque l'on souhaite produire de manière préférentielle un seul énantiomère, un enjeu majeur en **chimie fine*** et en développement pharmaceutique. Afin d'élargir le champ des réactions catalytiques accessibles, les chercheurs développent des métalloenzymes artificielles, qui combinent la sélectivité des enzymes avec la réactivité des catalyseurs inorganiques.

Dans cette étude, les chercheurs du CEA-Irig/LCBM ont franchi une nouvelle étape originale dans la conception de métalloenzymes artificielles en construisant directement un site actif inorganique au sein de cristaux de protéines. Après stabilisation de **cristaux réticulés*** de la protéine **NikA*** (CLEC), un **complexe de manganèse de type Salen*** (Mn(-Salen)) a été greffé de manière covalente sur un acide aminé, une cystéine introduite spécifiquement dans la protéine. Cette stratégie permet de sélectionner pour le site actif un nouvel environnement protéique organisé, permettant de catalyser une réaction d'époxydation énantiosélective.

Grâce à ce nouveau site actif artificiel, la métalloenzyme obtenue catalyse l'époxydation du **cis-β-méthylstyrène*** avec une forte énantiosélectivité, atteignant jusqu'à 90 % d'excès énantiomérique. Ces résultats montrent que des CLEC peuvent constituer une plateforme efficace pour concevoir des **catalyseurs biohybrides*** associant les propriétés d'une protéine à celles d'un complexe inorganique. Leur utilisation sous forme de **catalyseur hétérogène*** ouvre également la possibilité de récupérer et de réutiliser ces biocatalyseurs.



Stabilisation du système, création du site catalytique et réaction de catalyse, le tout directement dans un cristal. © CEA

Cette étude démontre le potentiel des cristaux d'enzymes réticulés comme plateforme pour concevoir de nouvelles métalloenzymes artificielles. En permettant de construire directement un site actif artificiel au sein d'une matrice protéique stabilisée, cette approche associe la sélectivité d'une enzyme à la réactivité d'un catalyseur inorganique issu de la chimie, tout en offrant les avantages d'un catalyseur hétérogène récupérable et réutilisable.

Tutelles UMR
CEA - Univ. Grenoble Alpes – CNRS

Financements
Agence Nationale de la Recherche (ANR-18-CE07-0034-2 PRC NI(k) AGARA) (France), LabEx ARCANE program (ANR-11-LABX-0003-01) (France), Graduate School on Chemistry, Biology and Health of Univ Grenoble Alpes CBH-EUR-GS (ANR-17-EURE-0003) (France).

***Métalloenzyme artificielle :** Catalyseur hybride associant une protéine et un complexe métallique. Cette approche vise à créer de nouvelles fonctions catalytiques en combinant la sélectivité des enzymes avec la réactivité des catalyseurs métalliques.

***Époxydation** : ajout d'un atome d'oxygène sur une double liaison entre deux atomes de carbone au sein d'hydrocarbures insaturés formant un cycle à trois atomes appelé un époxyde.

***Énantiosélectivité :** Capacité d'un catalyseur à favoriser de manière préférentielle la formation d'une des deux formes tridimensionnelles (énantiomères) d'une même molécule. Cette sélectivité est essentielle lorsque les deux énantiomères présentent des propriétés biologiques différentes..

***Chimie fine** : Branche de la chimie qui conçoit et fabrique des molécules complexes, pures et à forte valeur ajoutée, généralement produites en faibles ou moyennes quantités. Ces molécules sont destinées à différents secteurs : pharmacie, agrochimie, cosmétique, électronique, parfumerie, etc. L'accent est mis sur la maîtrise des procédés de synthèse, la qualité, la pureté et la reproductibilité. La chimie pharmaceutique en est un exemple.

***Cristaux d'enzymes réticulés** (Cross-Linked Enzyme Crystals – CLEC)* : Cristaux d'enzymes stabilisés par des liaisons chimiques entre les molécules de protéines. Cette approche permet de préserver l'organisation de la protéine tout en améliorant sa stabilité et en facilitant son utilisation comme catalyseur récupérable et réutilisable.

***NikA :** Protéine présente chez la bactérie Escherichia coli capable de transporter les ions nickel (Ni2+) à travers la membrane.

***Complexe de manganèse de type Salen :** Complexe inorganique contenant un ion manganèse maintenu au centre d'une pince moléculaire par un ligand de type Salen.

***Cis-β-méthylstyrène :** alcène aromatique dérivé du styrène, utilisé comme modèle pour évaluer l'efficacité et la sélectivité du catalyseur.

***Catalyseur biohybride :** Catalyseur combinant des composants d'origine biologique, comme des protéines ou des enzymes, avec des composants synthétiques, comme des complexes métalliques, afin de créer de nouvelles propriétés catalytiques.

***Catalyse hétérogène :** Procédé catalytique dans lequel le catalyseur se trouve dans une phase différente de celle des réactifs, par exemple sous forme solide dans un milieu réactionnel liquide. Cette méthodologie facilite la récupération et la réutilisation du catalyseur

REFERENCE
Boukhallat M, Benhamed I, Arnone J, Van Baaren S, Rinaldi C, Catty P, Marchi-Delapierre C, Cavazza C, and Ménage S.
Covalent Insertion of a Mn(Salen) Type Complex in Cross-Linked Protein Crystals: Design of an Enantioselective Artificial Epoxidase. ***Chemistry*** 2026

Première imprégnation d'hydrogène liquide dans des mousses 2PP : une avancée vers la fusion inertielle

Antoine Santamaria et François Millet
Département des Systèmes Basses Températures

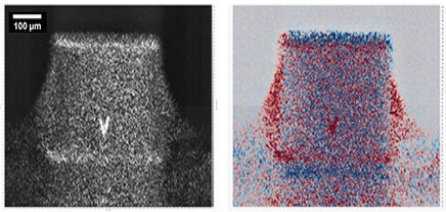


Figure de speckle laser de l'échantillon de mousse 2PP imprégné en LH2 (G) et détection de présence du LH2 par techniqueLSCI (D)*

La **fusion par confinement inertiel (FCI)*** exige des cibles cryogéniques en deutérium-tritium (DT) ultra-homogènes afin d'optimiser le **gain thermonucléaire***. La cellule CHIMERA (CEA-Irig/DSBT), conçue pour reproduire des conditions cryogéniques contrôlées, a permis une première imprégnation réussie d'hydrogène liquide (LH_2) dans des **mousses micrométriques en 2PP***.

Dans le cadre de la fusion par confinement inertiel (FCI), la cible cryogénique deutérium-tritium (DT) constitue un élément clé du système. Son design, qu'il s'agisse de configurations solide/gaz ou liquide/gaz, doit répondre à des exigences strictes en termes d'uniformité et de reproductibilité, car il impacte directement le gain thermonucléaire et, par conséquent, l'efficacité énergétique globale du réacteur. Une homogénéité quasi parfaite est indispensable pour garantir des réactions de fusion optimales comme pour le réacteur TARANIS, projet porté par la startup française GenF.

C'est dans ce contexte que les structures poreuses fabriquées par polymérisation à 2 photons (2PP) se révèlent particulièrement prometteuses. Grâce à leur haute précision dimensionnelle, ces mousses micrométriques permettent une imprégnation en hydrogène liquide (LH_2). Une fois cette étape maîtrisée, il est possible de solidifier le LH_2 obtenant ainsi une homogénéité optimale en hydrogène solide.

Pour étudier et maîtriser les processus d'imprégnation des cibles cryogéniques, une cellule expérimentale dédiée, baptisée **CHIMERA**, a été conçue. Sa fonction principale est de reproduire des conditions cryogéniques contrôlées (température et pression) et de provoquer une condensation directement au contact de l'échantillon, permettant ainsi une imprégnation par effet capillaire dans la structure poreuse. Grâce à ce dispositif, une première imprégnation en hydrogène liquide (LH_2), suivie d'une solidification, a pu être réalisée. Cette première dynamique, dont les paramètres (vitesse, front, uniformité) restent à quantifier, ouvre la voie à une compréhension approfondie des mécanismes en jeu.

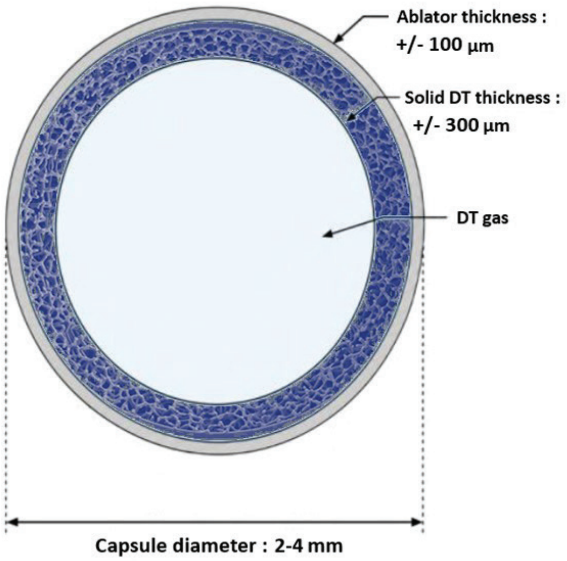


Schéma d'un design de cible cryogénique pour la fusion inertielle : capsule externe qui joue le rôle d'ablateur pour la compression, mousse 2PP (en bleu) qui est imprégnée de combustible deutérium-tritium (DT) liquide ou solide, lui-même en équilibre avec sa phase gazeuse au centre. © CEA.

Les résultats obtenus avec la cellule CHIMERA marquent une première étape décisive dans la maîtrise des processus d'imprégnation et de solidification des cibles cryogéniques avec mousses en 2PP. La prochaine campagne d'essais aura pour objectif de quantifier précisément la dynamique d'imprégnation, en étudiant notamment l'influence de la structure et de la densité des mousses 2PP sur ce phénomène. Ces données permettront d'affiner les modèles et d'optimiser les paramètres pour garantir une homogénéité et une reproductibilité conformes aux exigences des réacteurs FCI.

À plus long terme, l'objectif est de concevoir une solution adaptée à une cadence élevée (10 Hz), indispensable pour alimenter le réacteur TARANIS en conditions réelles. La finalité est de transposer ces résultats vers un système capable de produire des cibles cryogéniques performantes, à haute cadence, tout en maintenant les critères de design nécessaires pour maximiser le gain thermonucléaire.

***fusion par confinement inertiel (FCI) :** fusion de noyaux d'hydrogène par compression extrêmement rapide d'une minuscule capsule de combustible (composée d'un mélange d'isotopes d'hydrogène : le deutérium et le tritium), à l'aide de lasers très puissants. Pour obtenir le meilleur rendement, le combustible est solidifié à très basse température à l'intérieur de la capsule. L'objectif est de produire une énergie abondante, décarbonée et durable.

***gain thermonucléaire :** quantité d'énergie produite par les réactions de fusion par rapport à l'énergie nécessaire pour les déclencher.

Tutelles UMR (E 9004)
Univ. Grenoble Alpes - CEA

Collaborations : GenF

Financements : CEA et BPI via AAP Réacteurs Nucléaires Innovants - #DOS0237678/00

***mousses micrométriques en 2PP:** structures poreuses tridimensionnelles présentant une architecture contrôlée à l'échelle du micromètre fabriquées par polymérisation à deux photons (2PP, Two-Photon Polymerization, technique d'impression 3D utilisant un laser ultrarapide). Ces mousses sont développées pour servir de supports cryogéniques en permettant une imprégnation homogène du combustible liquide.

***laser speckle contrast imagery (LSCI):** un speckle laser est un motif granuleux diffusé par une surface illuminée par la lumière cohérente d'un laser. En analysant les variations de contraste et les évolutions temporelles, il est possible de détecter des phénomènes physiques, par exemple la présence d'un liquide.

Des nanofils GeSn pour une détection infrarouge sur mesure

Nicolas Pauc et Simone Assali
Laboratoire PHotonique ELectronique et Ingénierie QuantiqueS

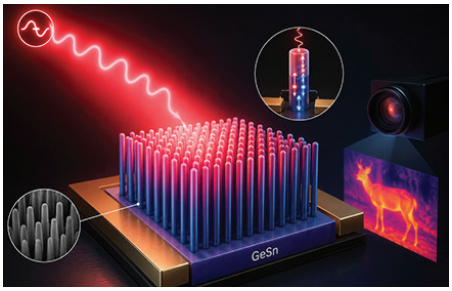


Image générée par IA

Le développement de technologies de détection et de transmission de données dans l'infrarouge à partir de semi-conducteurs germanium-étain (GeSn) est en plein essor. Dans ce contexte, des chercheurs du CEA-Irig/PHELIQS, en collaboration avec le CEA-Leti, ont développé un photodétecteur fonctionnant à température ambiante, basé sur un réseau de nanofils GeSn. Cette architecture innovante améliore l'absorption et enrichit les fonctionnalités du dispositif dans l'infrarouge à ondes courtes (SWIR).

La détection dans l'infrarouge à courte longueur d'onde (Short-Wave InfraRed, SWIR : 1.5-3.0 µm) est centrale pour de nombreuses applications, comme l'imagerie sous conditions de faible visibilité (brouillard), la détection de gaz ou encore le diagnostic biomédical. Actuellement, les détecteurs SWIR les plus performants en termes de sensibilité reposent sur des **semi-conducteurs III-V et II-VI*** à **bande interdite*** directe. Outre leur fabrication complexe et coûteuse, souvent associée à un fonctionnement nécessitant un refroidissement cryogénique, ces dispositifs reposent sur une croissance par **épitaxie*** sur des substrats spécifiques, ce qui complique leur intégration avec les **technologies CMOS sur silicium***.

Ces limitations favorisent le développement de matériaux alternatifs, tels que les alliages semi-conducteurs IV de la famille germanium-étain ($Ge_{1-x}Sn_x$), récemment stabilisés et pouvant être épitaxiés sur plaquette de silicium (wafer Si). Ces matériaux ont une bande interdite directe pour des longueurs d'onde supérieures à 2 µm (teneur en étain x supérieure à 8%) et associée à une forte absorption optique.

Les chercheurs ont nanostructuré par gravure des couches minces de Ge0.92Sn0.08 en réseaux ordonnés de nanofils verticaux de quelques centaines de nanomètres de diamètre et de un micromètre de hauteur. Cette architecture permet de renforcer le champ électromagnétique au niveau des structures semiconductrices en la piégeant grâce à des **résonances de type « modes de fuite »*** (leaky-mode resonances, LMR).

L'absorption de la lumière est alors multipliée par quatre par rapport à une couche mince conventionnelle. En modifiant le diamètre des nanofils, de 200 à 1 000 nm, les pics de résonance peuvent être ajustés avec précision pour des longueurs d'onde entre 1 et 2,4 µm. Chaque nanofil agit alors de la même manière qu'une nanocellule solaire optimisée pour résonner dans l'infrarouge, et opérée sans aucune polarisation externe, ce qui permet une consommation réduite. À une longueur d'onde de résonance déterminée par les dimensions du nanofil, le réseau de nanofils convertit préférentiellement le flux d'énergie lumineuse incidente en courant électrique, directement exploitable par un instrument de mesure.

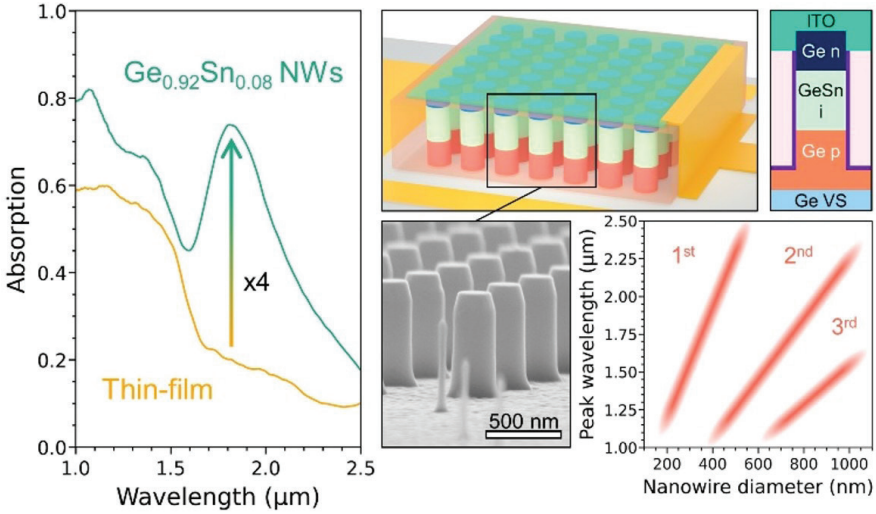


Schéma d'un photodétecteur à réseau de nanofils de GeSn présentant une absorption améliorée et un pic LMR modulable en fonction du diamètre des nanofils © CEA

Fonctionnant à température ambiante et grâce au contrôle précis de son absorption spectrale, ce dispositif ouvre la voie à une nouvelle génération de capteurs infrarouges compacts, directement intégrables dans les **systèmes LiDAR*** (sans danger pour les yeux), ainsi que dans les spectromètres infrarouges. Les travaux en cours visent à améliorer leur sensibilité en optimisant le procédé de fabrication, notamment grâce à un meilleur traitement des surfaces afin de limiter les défauts électroniques à l'origine des pertes de signal, et d'étendre leur fonctionnement dans l'infrarouge moyen (MWIR : 3-8 µm) en augmentant la concentration en étain du GeSn. À plus long terme, l'amélioration des procédés d'épitaxie du GeSn permettra d'atteindre de plus fortes teneurs en étain pour atteindre la bande de l'infrarouge lointain (LWIR : 8-20 µm), permettant ainsi le développement de systèmes d'imagerie multispectrale dans toute la gamme infrarouge.

Tutelles UMR : CEA – UGA – Grenoble INP

Financements : ANR (SINPHONI), CEA PTC (SAGE), UGA (SAGE).

Collaborations : CEA-Leti (Laboratoire d'électronique et des technologies de l'information).

***semi-conducteurs III-V, II-VI :** matériaux cristallins constitués d'éléments des colonnes III et V, ou II et VI, tels que GaAs, HgCdTe très utilisés dans le domaine optoélectronique. Leur structure électronique présente une bande interdite* généralement directe dépendant de leur composition, ce qui permet de cibler différentes longueurs d'onde de fonctionnement.

***bande interdite :** dans un cristal semiconducteur, intervalle d'énergie dans lequel aucun état électronique n'est permis. Celui-ci est borné de part et d'autre par les extrema des bandes de valence et de conduction. L'émergence d'un gap donne la possibilité de pouvoir jouer avec les populations d'électrons ou de trous libres, et permet l'apparition de transitions optiques, ceci étant à la base de toute l'électronique et de l'optoélectronique moderne.

***épitaxie :** science de la croissance cristalline sur substrat. Les atomes déposés s'organisent selon la structure du cristal support, permettant d'obtenir des matériaux de haute qualité. Les semi-conducteurs III-V doivent être déposés sur des substrats spécifiques III-V (GaAs, InP, etc.) augmentant le coût de fabrication et limitant leur intégration dans les technologies CMOS sur silicium*.

***technologie CMOS sur silicium:** CMOS pour « Complementary Metal-Oxide-Semiconductor », procédés industriels permettant de fabriquer des circuits électroniques sur des plaquettes (wafers) de silicium. Cette technologie offre une production à grande échelle, fiable et peu coûteuse.

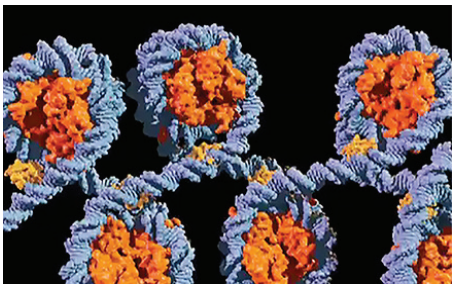
***résonances de type « modes de fuite » :** selon la longueur d'onde et la dimension du nanofil, chemins particuliers de lumière dans lesquels la lumière est piégée pendant un court instant et circule à travers le nanofil avant de s'en échapper.

***systèmes LiDAR :** LiDAR pour « Light Detection And Ranging », systèmes de télédétection qui déterminent la distance entre un capteur et un objet en mesurant le temps de parcours d'une impulsion laser réfléchie par l'objet.

REFERENCE
Willoquet T, Pauc N, Turmel M, Hartmann J-M, Calvo V and Assali S.
Tunable SWIR absorption peaks in GeSn nanowire array photodetectors
ACS Photonics 2026

Quand l'histone H1.4 relâche son emprise sur l'ADN : nouvel éclairage sur le syndrome de Rahman

Carlo Petosa
Institut de Biologie Structurale



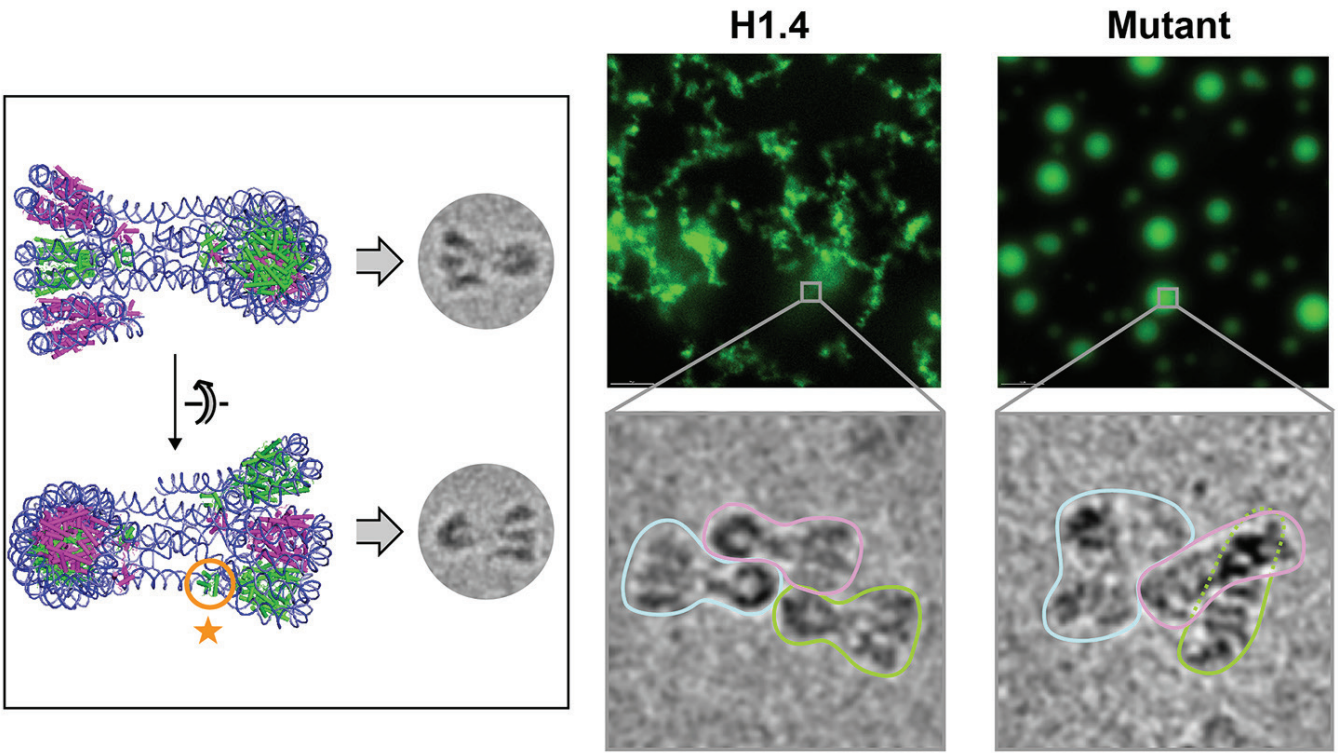
Des chercheurs du CEA-Irig/IBS, au sein d'un consortium international, ont montré qu'une mutation de l'histone H1.4 affaiblit la compaction de la **chromatine*** et rend l'ADN plus accessible, apportant un nouvel éclairage moléculaire sur une maladie génétique rare.

Le syndrome de Rahman est une maladie génétique rare caractérisée par des troubles du neurodéveloppement et des traits du visage particuliers, souvent accompagnés d'anomalies squelettiques ou cardiaques. Il est causé par des mutations de l'histone H1.4, une protéine qui contribue à organiser l'ADN dans le noyau cellulaire. La manière dont ces mutations perturbent cette organisation et conduisent à la maladie reste à ce jour mal comprise.

L'ADN s'enroule autour d'**histones*** dites « de cœur » pour former les nucléosomes, unités de base de la chromatine. L'histone H1.4 appartient à une autre famille, celle des histones de liaison : elle se fixe à l'endroit où l'ADN entre et sort du nucléosome et rapproche ces segments d'ADN, contribuant ainsi à compacter la chromatine. Les mutations responsables du syndrome de Rahman modifient une région de H1.4 qui interagit avec l'ADN et réduisent sa capacité à maintenir ces segments rapprochés. La chromatine devient alors plus ouverte et plus flexible, rendant l'ADN plus accessible.

Cet effet se manifeste aussi dans la manière dont la chromatine se condense : au microscope, la protéine mutée modifie la formation et l'aspect des condensats produits par séparation de phases. Or, la compaction de la chromatine participe au contrôle des gènes qui peuvent être lus par la cellule. Ces changements pourraient donc perturber l'expression des gènes au cours du développement et contribuer à expliquer la maladie.

Ces travaux révèlent comment l'histone H1.4 contribue à organiser la chromatine et apportent un nouvel éclairage moléculaire sur le syndrome de Rahman. Plus largement, ils ouvrent de nouvelles pistes pour étudier comment les défauts d'organisation de la chromatine perturbent la régulation des gènes et contribuent aux maladies.



La mutation de H1.4 perturbe la compaction de la chromatine et la séparation de phases.
L'encart à gauche montre une chaîne compacte de six nucléosomes liés à H1.4, vue selon deux orientations, ainsi que les images de cryo-ME simulées correspondantes. L'étoile orange indique la position de l'une des molécules de H1.4. À droite, les images du haut, obtenues en microscopie de fluorescence, montrent les condensats formés par séparation de phases, tandis que celles du bas, obtenues en cryo-ME, montrent l'organisation des chaînes de nucléosomes. Avec H1.4 normale, ces chaînes adoptent des structures compactes et relativement régulières et forment des condensats fibreux. Avec la protéine mutante, elles restent plus ouvertes et plus irrégulières et forment au contraire des condensats arrondis, semblables à des gouttelettes. © CEA

Tutelles UMR
Univ. Grenoble Alpes – CEA – CNRS

Collaborations
Institut pour l'Avancée des Biosciences, Univ. Grenoble Alpes, Inserm, CNRS, Grenoble, France

Institut de Génétique et Biologie Moléculaire et Cellulaire, Université de Strasbourg, CNRS, INSERM, Strasbourg, France.

Izmir Biomedicine and Genome Center, Dokuz Eylül University Health Campus, Izmir, Türkiye

Izmir Katip Çelebi University, Faculty of Medicine, Izmir, Türkiye

University of Rochester Medical Center, Rochester, USA

Roumen Tsanev Institute of Molecular Biology, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

Financements
ANR RAHMAN, GRAL/CBH-EUR-GS (ANR-17-EURE-0003).

***Chromatine :** forme sous laquelle l'ADN est organisé et compacté dans le noyau des cellules. Sa structure détermine quels gènes sont accessibles et peuvent être exprimés.

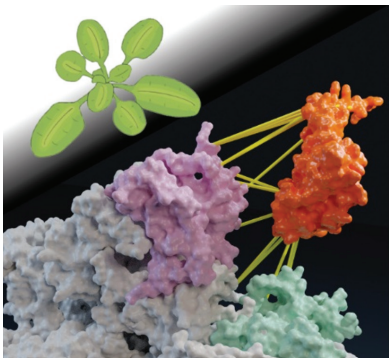
***histones :** protéines autour desquelles l'ADN s'enroule afin d'être compacté dans le noyau des cellules.

REFERENCE
Boopathi R. et al.
A Rahman Syndrome mutation in histone H1.4 disrupts chromatin compaction and phase separation.
Nature Communications 2026

Nouvelle stratégie révélant l'organisation des protéines au sein de membranes photosynthétiques

Pascal Albanese
Laboratoire Physiologie Cellulaire & Végétale

Myriam Ferro
Laboratoire Biosciences et Bioingénierie pour la santé



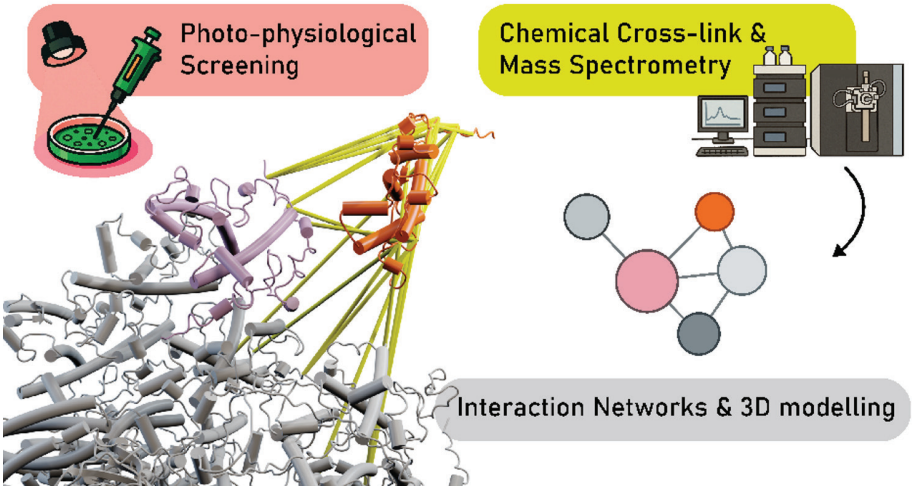
Comment les protéines des membranes thylakoïdiennes s'organisent et coopèrent pour permettre une photosynthèse efficace ? Des chercheurs du CEA-Irig, issus des laboratoires BGE et LPCV, ont réussi à cartographier leurs interactions dans leur état natif. Cette avancée ouvre des perspectives pour l'étude intégrative de systèmes membranaires fonctionnels, bien au-delà de la photosynthèse.

La photosynthèse est un processus essentiel à la vie sur Terre: elle permet aux organismes photosynthétiques (plantes, algues) de convertir l'énergie lumineuse en énergie chimique utilisable par la cellule. Son efficacité repose notamment sur l'organisation tridimensionnelle de nombreuses protéines présentes dans les membranes des **thylakoïdes***. Pour comprendre comment ces protéines s'assemblent et fonctionnent ensemble, les chercheurs développent des **approches de protéomique***, permettant d'identifier les protéines interagissant entre elles. Parmi ces approches, le **cross-linking*** couplé à la **spectrométrie de masse (XL-MS)*** permet de détecter les contacts entre protéines et de reconstruire leurs réseaux d'interactions.

Dans cette étude, les chercheurs du CEA-Irig ont développé une stratégie innovante pour cartographier les réseaux de protéines de membranes photosynthétiques fonctionnelles.

Les chercheurs ont optimisé la méthode reposant sur le cross-linking couplé à la spectrométrie de masse (XL-MS), en associant l'agent de cross-linking, le **PhoX*** avec un agent chimique, le **TMPAC*** (trimethylphenylammonium chloride), afin d'obtenir des résultats fiables tout en préservant l'intégrité fonctionnelle des membranes.

Cette stratégie a permis d'identifier plusieurs centaines d'interactions, augmentant leur détection de 20 à 40%, entre des protéines impliquées dans la régulation de la photosynthèse. En couplant ces données à la modélisation par intelligence artificielle (IA), les chercheurs ont révélé des associations inédites impliquées dans le contrôle et la réparation de la machinerie photosynthétique, offrant ainsi une vision précise de l'organisation des complexes moléculaires responsables de la conversion de l'énergie lumineuse.



Une approche améliorée de réticulation chimique pour décrypter les réseaux protéiques de la membrane thylakoïde. © CEA

Ces travaux montrent que la méthode développée permet de faire le lien entre la biologie fonctionnelle et la biologie structurale chez les plantes, en rendant possible l'exploration systématique des réseaux de protéines dans des conditions proches de l'état physiologique. Cette approche offre un cadre méthodologique transférable à d'autres systèmes membranaires, souvent difficiles à étudier, ouvrant la voie à la modélisation de nouveaux complexes protéiques fonctionnels.

Tutelles UMR
CEA – Inserm – Univ. Grenoble Alpes

Collaborations
UGA, CNRS, CEA, INRAe, Inserm

Financements
ANR (PHOTO_DYN), Union Européenne (PhotoLINK, Chloro-Mito, PlanktON), ProFI.

***Thylakoïdes :** structures membranaires situées à l'intérieur des chloroplastes, organites des cellules végétales (et des algues) responsables de la photosynthèse. Les premières étapes de la photosynthèse (capture de la lumière et sa transformation en énergie chimique) se déroulent au niveau de ces membranes.

***Approches de protéomique :** techniques d'analyse permettant d'identifier et de quantifier les protéines d'une cellule, de fluides biologiques ou tout autre échantillon comprenant des protéines.

***Cross-linking (XL) :** technique basée sur l'utilisation d'un réactif chimique capable de créer une liaison covalente entre deux protéines suffisamment proches dans l'espace. Cette approche permet de figer leurs interactions afin de pouvoir les caractériser et mieux comprendre comment ces protéines s'organisent et fonctionnent ensemble.

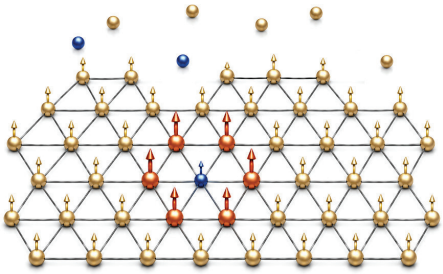
***Spectrométrie de masse (MS):** technique d'analyse qui permet d'identifier et de quantifier les protéines. Couplée au cross-linking (XL-MS pour Cross-Linking Mass Spectrometry), elle permet de détecter les protéines reliées chimiquement entre elles et de reconstruire l'organisation du réseau protéique au sein d'un système biologique.

PhoX :** réactif de cross-linking portant une charge négative, ce qui peut limiter son accès aux surfaces membranaires également chargées négativement, comme celles des thylakoïdes. L'ajout de **TMPAC, un composé chargé positivement, permet de réduire ces répulsions électrostatiques et d'améliorer l'accessibilité de PhoX aux protéines membranaires, tout en préservant l'intégrité structurale et l'activité biologique des membranes.

REFERENCE
Frances N, Giustini C, Finazzi G, Ferro M. et Albanese P.
Deciphering photosynthetic protein networks: a crosslinking-MS strategy for studying functional thylakoid membranes
The Plant Journal 2026

Des matériaux 2D ferromagnétiques à haute température

Frédéric Bonell
Laboratoire Spintronique et Technologie des Composants

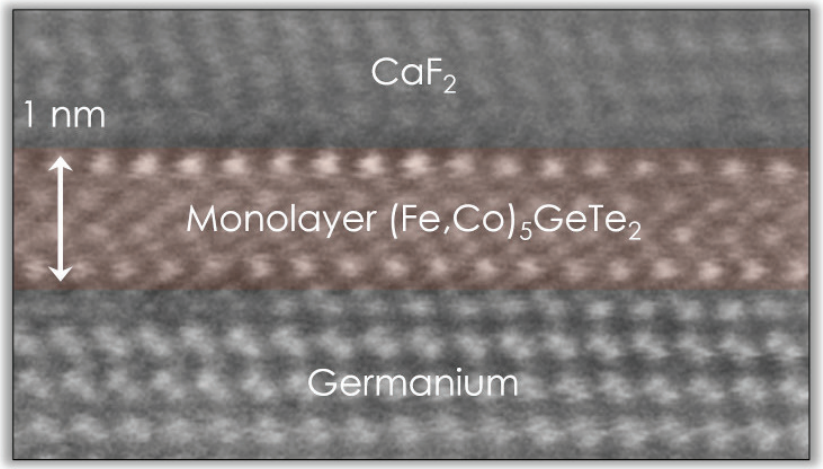


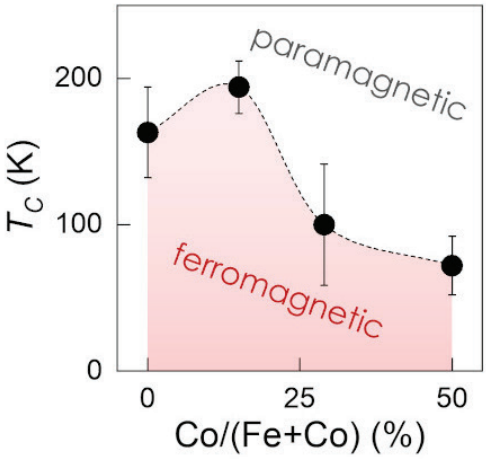
Dotés d'une épaisseur extrêmement faible, les **matériaux bidimensionnels (2D) de type van der Waals*** sont particulièrement prometteurs pour la **spintronique*** et la conception de nouveaux composants électroniques. Leurs propriétés magnétiques sont toutefois limitées à des températures bien inférieures à l'ambiante. Des chercheurs du CEA-Irig/SPINTEC viennent de développer des couches minces présentant des propriétés **ferromagnétiques*** à des températures nettement plus élevées.

La nature bidimensionnelle des matériaux magnétiques de van der Waals (vdW) pourrait permettre de réaliser des dispositifs ultracompacts présentant des interfaces nettes à l'échelle atomique, ouvrant ainsi la voie à des fonctionnalités spintroniques améliorées et ajustables. Jusqu'à présent, ces matériaux sont principalement étudiés sous la forme de fragments micrométriques issus de cristaux massifs, avec un contrôle limité de leur épaisseur et de leurs dimensions latérales. Le développement de méthodes permettant de fabriquer des couches d'épaisseur atomique sur de grandes surfaces est donc devenu essentiel. Par ailleurs, les matériaux magnétiques vdW perdent leur aimantation spontanée, et ainsi leur propriété ferromagnétique, à des températures bien inférieures à la température ambiante lorsqu'ils sont sous leur forme la plus mince.

Les chercheurs du CEA-Irig/SPINTEC sont parvenus à synthétiser, par **épitaxie par jets moléculaires***, des films minces de Fe_5GeTe_2 constitués de plusieurs couches atomiques et dopés au cobalt (Co), sur des surfaces de l'ordre du centimètre carré. Ces films présentent un ferromagnétisme stable bien au-delà de la température ambiante (293–298K) jusqu'à environ 370K. En utilisant un substrat de germanium (Ge), les chercheurs ont ensuite réduit progressivement l'épaisseur du matériau jusqu'à obtenir une seule couche atomique. Pour une concentration optimale en Co, cette monocouche reste ferromagnétique jusqu'à environ 200 K, une température remarquable et, à ce jour, inédite pour un matériau 2D de type van der Waals (vdW).

En combinant des expériences menées au synchrotron, notamment par **dichroïsme magnétique circulaire des rayons X (XMCD)***, et des calculs *ab initio*, les chercheurs ont pu distinguer les contributions magnétiques du fer (Fe) et du cobalt (Co). Ils ont ainsi montré que, bien que les atomes de Co soient eux-mêmes faiblement magnétiques, leur présence renforce le magnétisme des atomes de Fe voisins en augmentant localement les interactions d'échange magnétique. Les simulations ont par ailleurs confirmé que les atomes de Co se substituent directement à certains atomes de Fe dans la structure cristalline. Ce mécanisme explique pourquoi le dopage au Co renforce le ferromagnétisme du Fe_5GeTe_2 quelle que soit l'épaisseur du matériau, jusqu'à la limite d'une seule couche atomique.





À gauche : monocouche de Fe_5GeTe_2 dopée au cobalt, résolue à l'échelle atomique (microscopie électronique à transmission). À droite: Température de transition magnétique en fonction du degré de dopage. Un maximum est observé quand un atome de fer sur cinq est remplacé par un atome de cobalte la configuration du vortex sous l'effet du champ et signal de lecture (dérivée représentée dans l'encart). © CEA

Ces résultats apportent une meilleure compréhension des mécanismes à l'origine du magnétisme dans les matériaux 2D de van der Waals. Ils ouvrent également de nouvelles perspectives pour leur intégration dans des dispositifs spintroniques de nouvelle génération, grâce notamment à la possibilité de fabriquer des couches ultraminces par croissance épitaxiale.

Tutelles UMR
CEA – CNRS - UGA - Grenoble INP

Financements : ANR (ELMAX, NEXT), FLAG-ERA MNEMOSYN, PEPR SPIN (SPINMAT)

Collaborations : ESRF, SOLEIL, CEA-Irig/MEM

***Matériaux bidimensionnels (2D) de type van der Waals** : matériaux constitués d'une ou de quelques couches atomiques seulement, dans lesquels les atomes sont fortement liés au sein de chaque couche, tandis que les différentes couches sont maintenues entre elles par des forces de van der Waals, beaucoup plus faibles, qui permettent de séparer ou empiler les couches et de contrôler leur nombre jusqu'à atteindre une seule couche atomique.

***Spintronique :** domaine de l'électronique qui exploite la charge électrique des électrons, mais également leur spin, une propriété quantique associée à leur moment magnétique, qui permet de stocker, transporter ou encore traiter l'information.

***Ferromagnétiques :** capacité d'un matériau à présenter une aimantation spontanée et à conserver une partie de cette aimantation lorsque le champ magnétique extérieur est supprimé.

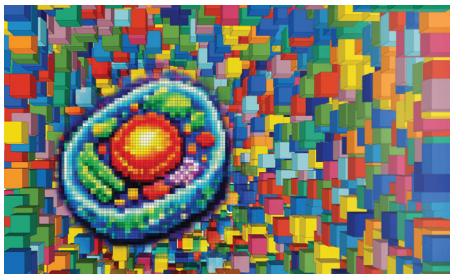
***Epitaxie par jets moléculaires :** déposition couche après couche sur un substrat soumis à un faisceau d'atomes ou de molécules, afin de faire croître des couches cristallines ultrafines.

***Dichroïsme magnétique circulaire des rayons X (XMCD) :** technique qui sonde les propriétés magnétiques d'un matériau en permettant de visualiser et caractériser le magnétisme à l'échelle atomique.

REFERENCE
Courtin J. et al.
High Temperature Ferromagnetism in Epitaxial Monolayers of Co-Doped Fe_5GeTe_2
Physical Review Letters 2026

Vers une microscopie par fluorescence X (XRF) « douce »

Nicolas Vigano & Dmitry Karpov
Laboratoire Modélisation et Exploration des Matériaux



Bien que la microscopie par fluorescence X (XRF) soit une technique de référence pour cartographier la composition chimique d'échantillons à l'échelle nanométrique, obtenir des images à haute résolution et détecter des éléments présents en très faibles quantités, elle nécessite des temps d'acquisition longs et des doses de rayonnement élevées. Pour surmonter ces limites, un consortium de chercheurs de la ligne de lumière ID16A de l'ESRF et du CEA-Irig/MEM à Grenoble a mis au point une méthode de réduction du bruit « auto-supervisée » qui améliore considérablement la qualité de l'image.

La microscopie XRF est une technique d'analyse qui utilise un faisceau de rayons X focalisé, associé à la détection des rayons X fluorescents émis par des atomes excités. En balayant l'échantillon point par point, elle fournit des cartes quantitatives des éléments chimiques avec une résolution pouvant atteindre l'échelle nanométrique ; toutefois, cela nécessite des temps d'acquisition longs et des doses de rayonnement élevées, ce qui peut s'avérer critique pour des échantillons sensibles aux rayonnements tels que les cellules biologiques ou **les matériaux énergétiques***.

Les détecteurs multicanaux offrent un compromis entre la qualité des données et la préservation de l'échantillon en collectant davantage de photons et en augmentant le rapport signal/bruit (SNR). Cependant, le nombre de détecteurs pouvant être intégrés est limité par leur coût et l'espace disponible. Une alternative consiste à tenter d'améliorer le SNR à l'aide de méthodes de réduction du bruit par calcul.

Dans cette étude, les chercheurs ont mis au point un procédé de débruitage auto-supervisé basé sur la **méthode Noise2Noise*** et l'**architecture U-Net***.

Cette méthode a d'abord été testée sur un échantillon à géométrie connue (« **étoile de Siemens***») et a permis de réduire considérablement le bruit de l'image sans altérer la géométrie des motifs ni la quantification, même pour un détecteur à éléments multiples ne comportant que quelques canaux (2 à 4). Les chercheurs ont ensuite validé cette méthode sur des cellules cancéreuses humaines (un cas représentatif des applications biologiques où il est impératif que les doses de rayonnement restent faibles), en montrant que, grâce à des acquisitions rapides (10 ms par pixel), les images obtenues, initialement très bruitées, sont plus lisibles et révèlent des structures masquées dans les images brutes tout en étant plus nettes que les images de référence acquises avec une exposition cinq fois plus longue (50 ms par pixel).

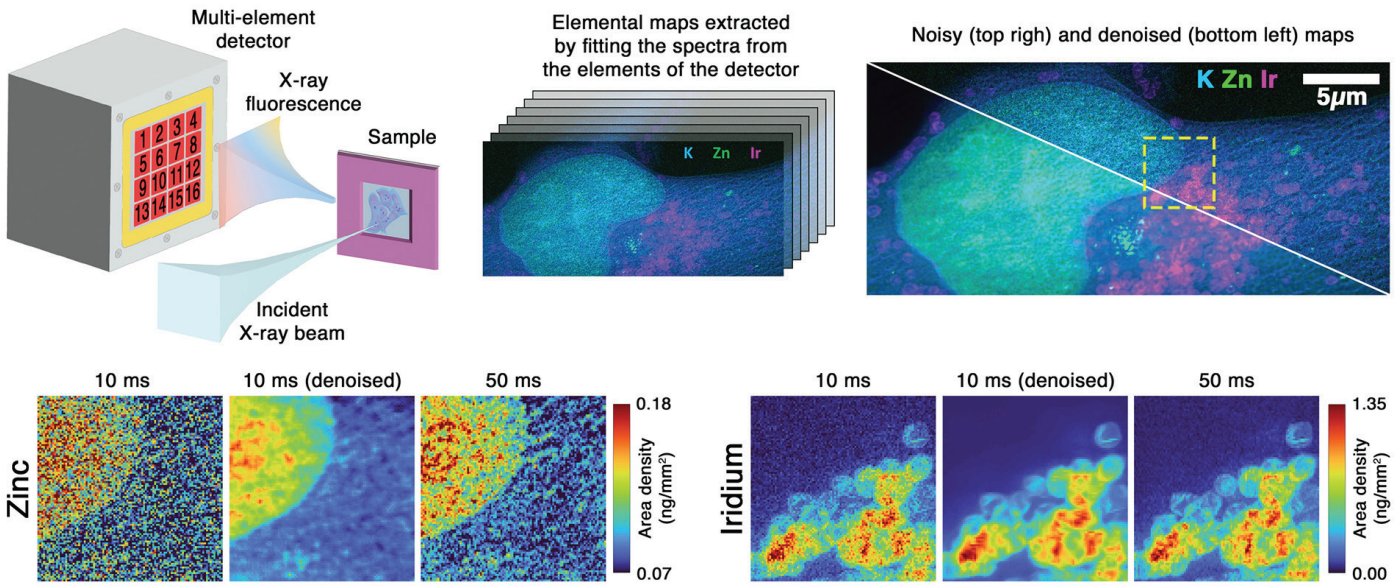


Schéma de la configuration du détecteur XRF à éléments multiples, accompagné des résultats du débruitage. Les résultats présentés en bas de figure permettent de comparer les données brutes acquises à 10 ms par pixel, la reconstruction débruitée et une carte de référence enregistrée à 50 ms par pixel pour les raies élémentaires du zinc (à gauche) et de l'iridium (à droite). © CEA

La méthode mise au point permet d'obtenir des images d'une qualité comparable, voire supérieure, à celles obtenues avec des temps d'exposition bien plus longs, ce qui permet de maintenir la dose de rayonnement à un faible niveau et d'assurer une acquisition rapide. Cette approche sera donc particulièrement utile pour cartographier les oligo-éléments dans des échantillons biologiques sensibles aux rayonnements, pour caractériser des matériaux nécessitant une analyse sur de grandes surfaces, ainsi que pour des études résolues en temps où la vitesse d'acquisition est cruciale. De plus, pour obtenir ce type de résultats, il n'est pas nécessaire d'utiliser des détecteurs composés d'un grand nombre d'éléments détecteurs, ce qui signifie que cette méthode peut être mise en œuvre sur des instruments XRF et EDX existants sans aucune modification matérielle.

Tutelles UMR : Univ. Grenoble Alpes, CEA, CNRS

Financements : ESRF beamtime at ID16A (experiment IHLS-3625); EU Horizon 2020 MSCA COFUND ENGAGE (No. 101034267) & SCANnTREAT (No. 899549).

Collaborations : ESRF

***Matériaux énergétiques** : matériaux utilisés pour produire, convertir, stocker ou économiser de l'énergie, par exemple pour la fabrication d'électrodes et d'électrolytes de batteries, ou pour produire, stocker ou utiliser de l'hydrogène. Ils englobent également les matériaux photovoltaïques à couche mince ou les matériaux capables de convertir le CO_2 en molécules utiles.

*** Méthode Noise2Noise :** méthode d'apprentissage profond qui entraîne un réseau de débruitage à l'aide d'images bruitées. Le bruit étant aléatoire et variant d'une image à l'autre, le réseau n'apprend pas à reproduire le bruit, mais apprend progressivement à identifier l'élément commun : le signal réel.***Architecture U-Net :** architecture de **réseau neuronal convolutif*** initialement développée pour la segmentation d'images et désormais largement utilisée pour les tâches de restauration d'images. Sa structure permet au réseau d'analyser une image à plusieurs échelles et de la reconstruire tout en préservant les détails fins.

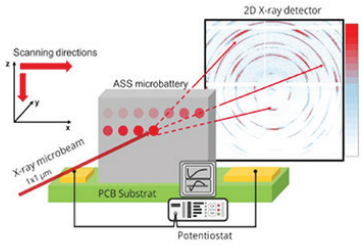
***Réseau neuronal convolutif :** architecture d'apprentissage profond qui, grâce à des opérations de convolution, apprend à reconnaître les structures pertinentes d'une image, permettant ainsi le débruitage, la segmentation ou la restauration.

***Méthode Noise2Noise / architecture de type U-Net :** en traitant les cartes issues des canaux individuels du détecteur comme des observations indépendantes d'une même structure sous-jacente, des paires d'images sont générées et utilisées pour entraîner un modèle de débruitage. Une image débruitée est ensuite reconstruite en combinant les sorties du réseau U-Net entraîné.

***Étoile de Siemens :** cible de test de résolution constituée de motifs radiaux en or déposés sur un substrat en silicium.

REFERENCE
Shishkov R, Laugros A, Vigano N, Bohic S, Karpov D, Cloetens P. Self-Supervised Deep-Learning Denoising for X-ray Fluorescence Microscopy with Multi-Element Detectors ***Analytical Chemistry*** 2026

Autres résultats scientifiques



Imagerie synchrotron operando de microbatteries tout solide

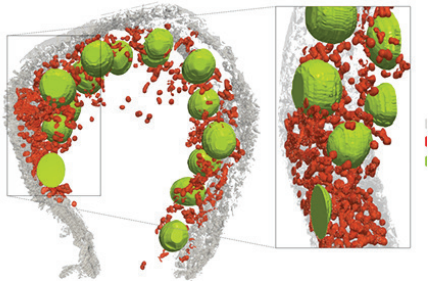
Un consortium de chercheurs du CEA-Irig, du CEA-Leti et de l'European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) a réalisé une avancée majeure en menant, pour la toute première fois, une observation par rayons X du fonctionnement complet d'une microbatterie tout-solide.

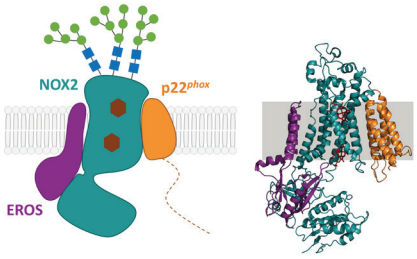
en savoir +

Quand la symbiose dope la photosynthèse et le stockage du carbone des microalgues

Des chercheurs du CEA-Irig/LPCV ont montré que des microalgues vivant en symbiose avec leur hôte deviennent plus performantes que lorsqu'elles vivent seules. Leur photosynthèse est stimulée, leur permettant de fixer davantage de CO_2 et de produire plus de réserves sous forme d'amidon et de lipides.

en savoir +





EROS, le héros caché de la défense antimicrobienne

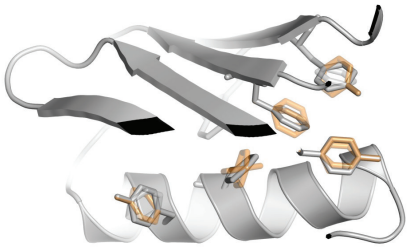
Notre système immunitaire repose sur des cellules spécialisées, telles que les neutrophiles et les macrophages, pour détecter et éliminer les microbes. L'une des armes les plus puissantes utilisées par ces cellules est un dispositif moléculaire multicomposant appelée NADPH oxydase.

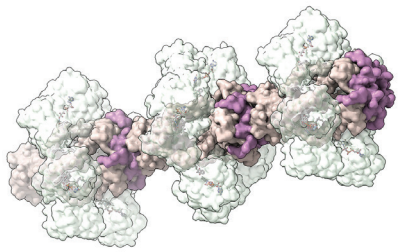
en savoir +

Comment l'environnement façonne la dynamique des protéines

Une étude publiée dans Nature Chemistry examine comment l'environnement remodèle le paysage énergétique conformationnel des protéines en utilisant comme modèle la protéine GB1.

en savoir +



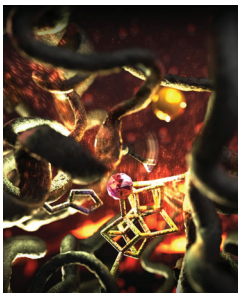


Une architecture tubulaire inédite éclaire la respiration bactérienne

La respiration est au cœur de la conversion d'énergie chez la plupart des organismes vivants. Elle repose sur des chaînes de transfert d'électrons situées dans la membrane, au sein desquelles de petites molécules appelées quinones assurent un rôle de navettes électrochimiques.

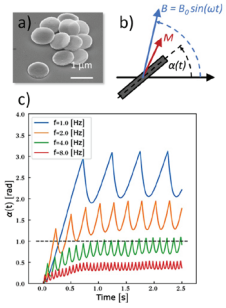
en savoir +

Comment les microbes catalysent la fixation de l'azote en enfer ?



Bien que l'azote gazeux constitue près de 78 % de l'atmosphère terrestre, sa triple liaison le rend difficilement utilisable par les organismes vivants. Pour y parvenir, les micro-organismes mènent à bien la remarquable réaction de fixation de l'azote : ils transforment le N_2 en ammoniac, utilisé comme engrais et biocarburant.

en savoir +

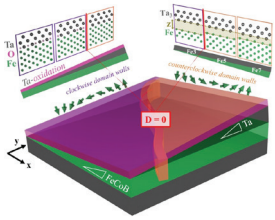


Magnetic vortex micro-disks dynamics in viscoelastic environments

Magnetically driven microparticles provide a versatile platform for probing and manipulating biological systems. Yet the physical framework governing their actuation in complex environments remains only partially explored.

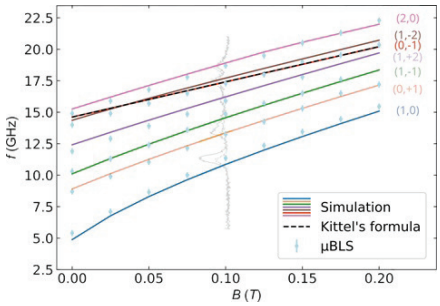
en savoir +

Dzyaloshinskii-Moriya interaction chirality reversal with ferromagnetic thickness



In Ta/FeCoB/TaOx, it was demonstrated that the Dzyaloshinskii-Moriya interaction (DMI) chirality can undergo modification solely in response to variations in the thickness of the ferromagnetic layer.

en savoir +

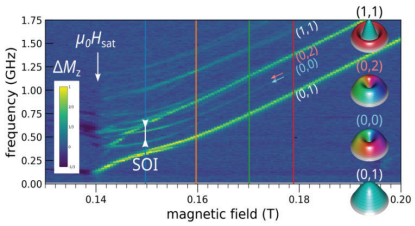


Spin waves in cylindrical magnetic conduits: from theory to experiment

Spin waves are propagating fundamental excitations of magnetic systems, also carrying promises for low-power logic and data transfer. We report the measurement of thermal spin-wave spectra in single cylindrical nanowires, and their quantitative analysis as modes with a radial and azimuthal index.

en savoir +

E pur si muove! And yet it moves!



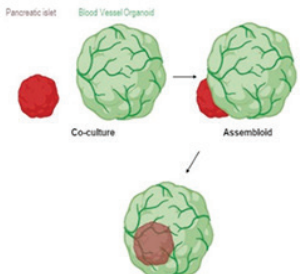
Angular momentum (AM) is the conserved quantity associated with rotational invariance. Harnessing its orbital component in axi-symmetric sample is often challenging. Interestingly, we show that azimuthal spin waves in normally magnetized disks are largely immune to imperfections that would otherwise prevent the wavefront from orbiting around the disk.

en savoir +

Diabète de type 1 : vascularisation d'un îlot pancréatique sur puce microfluidique

Dans le contexte du FOCUS OSP* et de l'ANR JCJC ATOP1*, des chercheurs du CEA-Irig/BGE/BIOMICS ont récemment démontré que la coculture d'un îlot pancréatique* et d'un organoïde* de vaisseau sanguin conduit à la fusion de ces 2 structures tridimensionnelles (3D), appelé assembloïde..

en savoir +



Une protéine à double fonction orchestre la floraison

Le passage de la phase végétative à la phase reproductrice chez les plantes à fleurs (Angiospermes) se traduit par la floraison. Cette transition est finement contrôlée par la protéine ULTRAPETALA1 qui régule l'expression des gènes clés du virage floral et de la morphogenèse de la fleur.

en savoir +

Prix - Media

Alexandra Colin et Nicola Galvanetto, lauréats «ERC Starting Grant» 2026

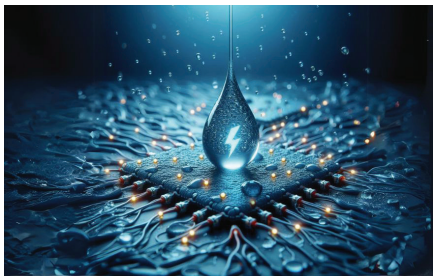
Les contrats ERC Starting Grants, décernés par le Conseil Européen de la Recherche, offrent à des jeunes et brillants chercheurs la possibilité de mener des projets innovants et prometteurs pour l'avenir. Ce financement leur permettra de mener à bien leurs projets et de mettre en place leur propre équipe de recherche.

en savoir +

AMYLEN, lauréat du Grand Prix 'Out of Lab' - Anima

Le Grand prix « Out of the Lab », concours organisé par *Anima*, a été décerné au projet AMYLEN pour son générateur bio-inspiré basé sur des matériaux d'origine marine, capable de convertir l'humidité ambiante en électricité, de manière continue, sans infrastructure ni matériau rare !

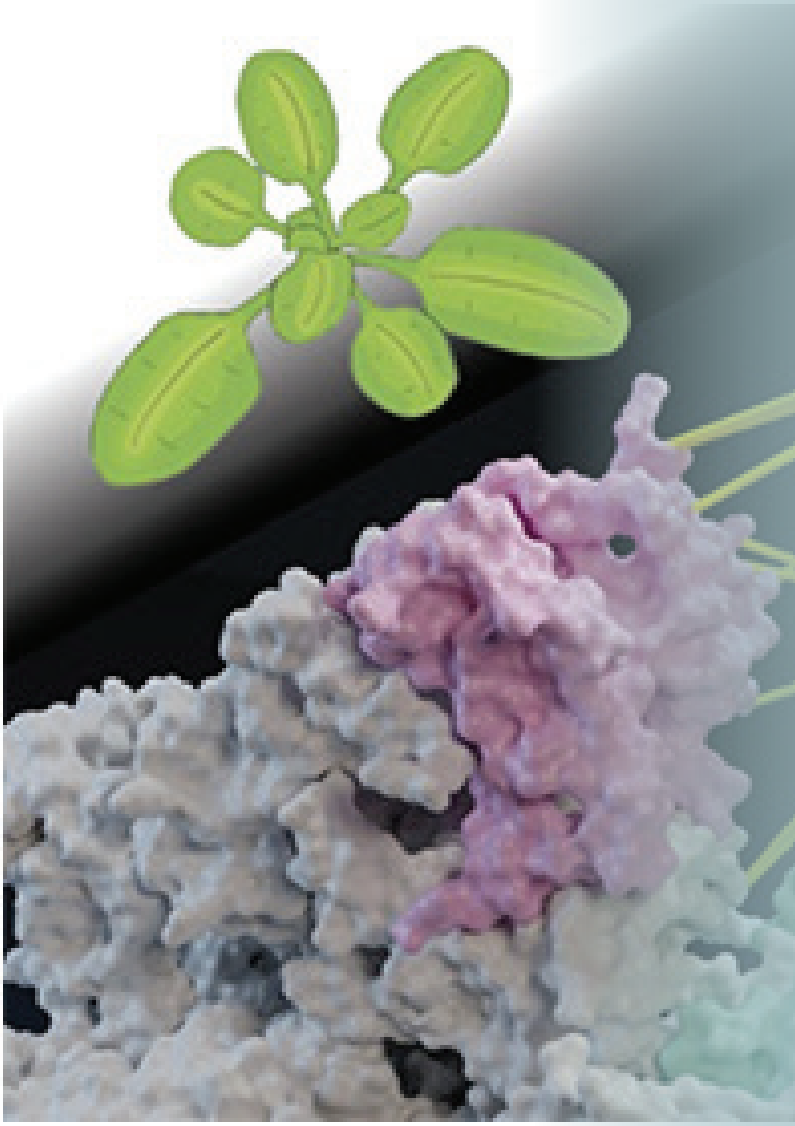
en savoir +



Oleksandra Yeromina, lauréate du prix i-PhD 2026 pour QDLab, projet SWIR incubé dans Magellan

Oleksandra Yeromina, chercheuse au CEA-IRIG/SYMMES, a été récompensée pour son projet QDLab, incubé depuis mars 2025 dans le programme Magellan du CEA. Ce projet vise à révolutionner la détection optique dans l'infrarouge court 1-2,5 µm.

en savoir +



Photonique Electronique
et Ingénierie Quantiques
CEA-UGA
www.Pheliqs.fr

Spintronique
et Technologie
des Composants
CEA-CNRS-UGA
www.Spintec.fr

Institut de Biologie
Structurale
CEA-CNRS-UGA
www.IBS.fr

Chimie et Biologie
des Métaux
CEA-CNRS-UGA
www.CBM-lab.fr

Physiologie Cellulaire
et Végétale
CEA-CNRS-UGA-INRAE
www.LPCV.fr

Biologie et Biotechnologie
pour la Santé
CEA-Inserm-UGA
www.Biosante-lab.fr

Systèmes Moléculaires
et nanoMatériaux
pour l'Énergie et la Santé
CEA-CNRS-UGA
www.Symmes.fr

Modélisation et Exploration
des Matériaux
CEA-UGA
www.MEM-lab.fr

Biosciences et Bioingénierie
pour la Santé
CEA-Inserm-UGA
www.BGE-lab.fr

Département des Systèmes
Basses Températures
CEA-UGA
www.d-SBT.fr

cea irig

Institut de Recherche
Interdisciplinaire de
Grenoble

Directrice de la publication
Pascale Bayle Guillemaud

Maquettiste éditorial
Alain Farchi

Comité de rédaction : Emmanuelle Neumann,
Mathilde Costes-Majorel

Suivez-nous sur LinkedIn

CEA
17 Avenue des Martyrs
38054 Grenoble Cedex 9

cea cnrs Inserm UGA Université Grenoble Alpes INRAE