

## À la une de l'irig

### Les protéines fluorescentes s'activent dans le froid

Les molécules biologiques peuvent être observées à l'échelle nanométrique grâce à la nanoscopie de fluorescence. La microscopie de localisation de molécules uniques (SMLM) permet d'améliorer la résolution de la microscopie par fluorescence, classiquement limitée par le phénomène de diffraction. Un défi actuel consiste à travailler à température cryogénique pour mieux préserver la structure native des échantillons, comme en cryo-microscopie électronique. La SMLM repose sur l'utilisation de fluorophores capables de passer efficacement d'un état fluorescent à un état non fluorescent. Mais, hélas, cette photo commutation fonctionne très mal à très basse température.

Contact : **Dominique Bourgeois**  
IBS  
Institut de Biologie Structurale



Figure : Changements de structure du chromophore rsEGFP2 lors de la commutation à température ambiante (à gauche) ou à température cryogénique (à droite). L'état fluorescent est représenté en vert et l'état non fluorescent en gris. En arrière-plan, vue artistique du microscope cryo-SMLM. © Virgile Adam / IBS.

Des chercheurs de l'irig, en collaboration avec l'université de Göttingen en Allemagne, ont donc étudié les propriétés de cryo-commutation de la protéine fluorescente rsEGFP2. En combinant la cristallographie aux rayons X avec la spectroscopie optique et la cryo-SMLM à l'aide d'un microscope dédié, ils ont découvert que rsEGFP2 commute toujours à  $-170$  °C, mais par un nouveau mécanisme. A température ambiante, la commutation est basée sur l'isomérisation *cis-trans* du chromophore, un changement conformationnel important. Mais à basse température les données suggèrent la formation de « radicaux » sans changement conformationnel substantiel (voir figure).

De plus, les chercheurs ont observé que la fraction de molécules rsEGFP2 qui cryo-commutent efficacement avant photodestruction (photoblanchiment) augmente d'environ 30 % en appliquant une illumination UV à 355 nm, au lieu de 405 nm comme classiquement utilisé pour la SMLM à température ambiante. Ainsi, un laser à 355 nm améliore considérablement la densité de marquage effective pour la cryo-SMLM.

Cette étude ouvre la voie à l'obtention d'images cryo-nanoscopiques mieux résolues. L'objectif est maintenant d'appliquer l'illumination UV optimisée sur des échantillons biologiques, notamment dans le cadre d'études associant la cryo-SMLM et la cryo-tomographie électronique, un défi majeur pour la biologie structurale et cellulaire intégrée d'aujourd'hui.

#### RÉFÉRENCE

**Mantovanelli A M R, Glushonkov O, Adam V, Wulfel J, Thédié D, Byrdin M, Gregor I, Nevskiy O, Enderlein J and Bourgeois D**  
Photophysical Studies at Cryogenic Temperature Reveal a Novel Photoswitching Mechanism of rsEGFP2  
*Journal of the American Chemical Society* 2023

### Des gaz d'électrons pour contrôler l'aimantation

Les chercheurs de l'irig ont récemment fait état d'un progrès significatif dans le développement d'une nouvelle génération de dispositifs mémoire à basse consommation d'énergie. La non-volatilité, qui permet de garder la donnée en l'absence d'alimentation, est un ingrédient clé pour optimiser la consommation d'énergie des mémoires et des dispositifs logiques.

Contact : **Jean-Philippe Attané**  
SPINTEC  
Spintronique et Technologie des Composants

Les chercheurs, en collaboration avec l'Unité Mixte de Physique CNRS/Thales, ont réalisé une percée dans la modulation des propriétés spintroniques d'un gaz d'électrons bidimensionnel à l'aide d'un champ électrique. Ils ont utilisé des empilements de couches minces Ta/CoFeB/MgO possédant un gaz d'électrons bidimensionnel, qui offrent des avantages clés pour l'intégration dans des technologies spintroniques. La conductivité du gaz d'électrons peut être modulée à l'aide d'un champ électrique appliqué à travers le substrat SrTiO<sub>3</sub> avec deux états commutables et rémanents de haute et basse résistivité du dispositif, avec un contraste de résistance de plus de 1000%. Les chercheurs ont ensuite mesuré les couples spin-orbite agissant sur l'aimantation dans la croix de Hall, et ils ont découvert que les effets sur l'aimantation sont différents pour les états de haute et de basse résistivité.

Ce contrôle électrique non volatile peut permettre de créer une nouvelle génération de dispositifs pour applications nécessitant mémoire et logique, et pour l'intelligence artificielle.

#### REFERENCE

**Grezes C, Kandazoglou A, Cosset-Cheneau M, Arche LMV, Noël P, Sgarro, P, Auffret S, Garello K, Bibes M, Vila L and Attané J-P**  
Non-volatile electric control of spin-orbit torques in an oxide two-dimensional electron gas  
*Nature Communications* 2023

**Projet financé avec les soutiens de :** ANR Contrabass, Institut Universitaire de France, ERC Fresco, les projets européens FET-OPEN Tocha et ITN Spear, et la Plateforme Technologique Amont

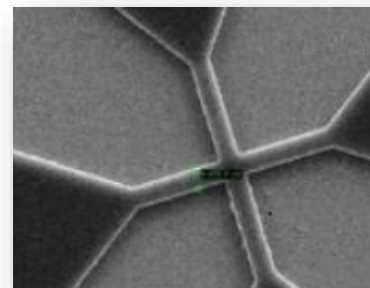


Image par microscopie électronique : nanostructure spintronique en forme de croix de Hall, utilisée pour réaliser les mesures. Les largeurs des branches sont comprises entre 200 nm et 2  $\mu$ m.

## Les cellules migrantes se fauillent dans les tissus

Les effets mécaniques cellulaires sont classiquement réalisés par la contraction des filaments d'actine grâce à des protéines (les myosines) qui jouent le rôle de moteur moléculaire. Cependant, l'actine seule ne permet pas aux cellules de passer au travers de si petits interstices. Des chercheurs de l'Iríg, en collaboration avec les équipes du CNRS et de l'université d'Utrecht en Hollande, ont révélé le rôle primordial des microtubules pour réaliser une telle transformation morphologique (cf. **Figure**).

Depuis 2013, en développant leurs études sur la forme et la division des cellules souches, les chercheurs ont découvert combien les microtubules sont sensibles aux forces de pression subies par la cellule dans les interstices. Les scientifiques ont astucieusement mis au point un dispositif basé sur une sorte de film plastique où sont greffées des cellules vivantes : en étirant le film, il devient possible d'appliquer aux cellules des déformations précises. Les forces sont exercées à vitesse, fréquence, direction et pression-relaxation parfaitement contrôlées. Ainsi, les microtubules, généralement très dynamiques, se stabilisent lorsque les cellules se compriment en s'engageant dans les interstices, afin de permettre leur progression. De plus, les chercheurs ont identifié le mécanisme moléculaire de la stabilisation des microtubules : des protéines associées aux extrémités en croissance des microtubules, assurent leur élongation rapide en se repositionnant dans les zones déformées.

Ces études révèlent de nouvelles propriétés fondamentales des microtubules et démontrent leur implication dans la migration cellulaire en réponse aux contraintes mécaniques et spatiales de l'environnement. Ces processus pourraient bien être impliqués dans l'invasion tumorale ou l'exploration des tissus par les cellules immunitaires. Le mécanisme identifié pourrait conduire au développement d'une nouvelle stratégie moléculaire pour contrôler ces migrations cellulaires.

Contact : **Manuel Théry**

LPCV

Laboratoire Physiologie Cellulaire & Végétale

### REFERENCE

Li Y, Kučera O, Cuvelier D, Rutkowski D M, Deygas M, Rai D, Pavlovič T, Vicente F N, Piel M, Giannone G, Vavylonis D, Akhmanova A, Blanchoin L and Théry M  
Compressive forces stabilise microtubules in living cells  
*Nature Materials* 2023

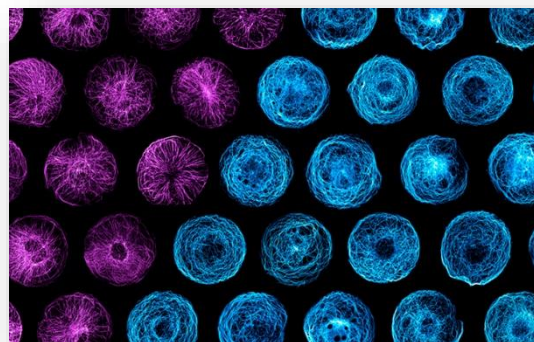


Figure : Architecture de réseaux de microtubules.

## Quand le graphène twiste, les dislocations ont le tournis

Depuis une décennie, le graphène bicouche twisté à un certain angle critique est un domaine de recherche fascinant en physique de la matière condensée. Ce matériau se compose de deux couches de graphène superposées selon un angle de rotation de 1,08 degré précisément. A cet angle dit « magique » la structure cristalline est soumise à différents effets qui modifient les propriétés électroniques, notamment le matériau devient supraconducteur. Cependant, le modèle théorique proposé il y a plusieurs années ne permettait pas d'interpréter la propriété supraconductrice dans le graphène bicouche twisté.

Les chercheurs de l'Iríg et de l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign se sont donc penchés sur ce modèle initial en ajoutant aux dislocations de type vis, induites par le twist, des boucles de dislocations de type coin [1,2]. Les dislocations mixtes forment ainsi une surface hélicoïdale à la topologie ondulée, illustrée par le chemin arc-en-ciel sur la **figure 1**.

Cette topologie mixte des dislocations a un effet drastique au niveau de la structure électronique, dont le dernier niveau d'énergie n'est que partiellement rempli. Ceci explique la brisure de symétrie observée pour la phase supraconductrice.

Les études sur la physique du graphène bicouche twisté ont permis de mieux comprendre les différentes caractéristiques de ce nouveau matériau grâce à la prise en compte de la nature complète des dislocations sous-jacentes. La théorie des dislocations devient ainsi un outil puissant pour interpréter la physique des matériaux constitués d'empilements de couches.

### RÉFÉRENCES

[1] Rakib T, Pochet P, Ertekin E and Johnson H T  
Corrugation-driven symmetry breaking in magic-angle twisted bilayer graphene  
*Communications Physics* 2022

[2] Rakib T, Pochet P, Ertekin E and Johnson H T  
Helical dislocation in twisted bilayer graphene  
*Extreme Mechanics Letters* 2023

Contact : **Pascal Pochet**

MEM

Modélisation et Exploration des Matériaux

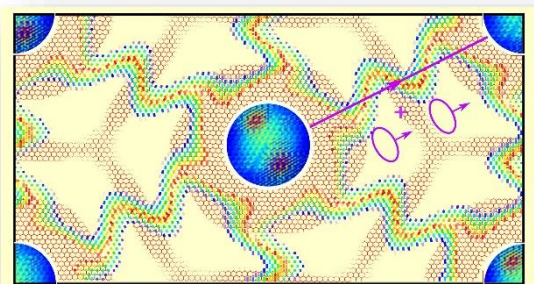


Figure 1 : Vue de dessus d'une bicouche de graphène twisté à l'angle magique 1,08°. En forme de nid d'abeille (en rouge) la couche supérieure n'étant pas plate, son ondulation se repère par la zone en filigrane jaune : située entre les deux couches, elle masque une partie de la couche passant en dessous d'elle. La combinaison des dislocations vis (flèche droite) et coin en boucle (cercles) est une dislocation hélicoïdale suivant un chemin vallonné de couleurs arc-en-ciel. En bleu, la densité électronique est représentée au centre et aux coins selon une symétrie brisée correspondant aux propriétés supraconductrices.

# Les bactériophages comme outils de diagnostic

Les bactériophages sont des virus parasites de bactéries qui se répliquent exclusivement dans leur hôte, avec une remarquable spécificité. Depuis près d'un siècle, des suspensions de phages sont utilisées dans certains pays d'Europe de l'Est (Russie et Géorgie) à des fins thérapeutiques comme traitement antibiotique. A présent, les phages sont incorporés dans les emballages alimentaires ou pansements, afin de réduire la prolifération des bactéries, comme par exemple *Escherichia coli*, *Listeria* et *Salmonella*.

Récemment, des bactériophages ont été mis en œuvre comme élément de biodétection, à des fins de diagnostic. Mais il est nécessaire à la fois de les produire en grande quantité, et aussi de les immobiliser sur un capteur. A cet effet, les scientifiques de l'Irigr, en collaboration avec le LETI/DTBS, ont développé une méthode de purification de phages pour obtenir les particules virales actives en grand nombre. Et différentes modifications chimiques des bactériophages ont été testées afin de les immobiliser physiquement sur la surface dorée d'un biocapteur, tout en maintenant leur pouvoir infectieux. Les dispositifs bio-actifs ainsi obtenus montrent la plus forte densité de phage jamais décrite dans la littérature. Plusieurs biocapteurs ont ainsi été produits avec différents bactériophages pour prouver leur spécificité vis à vis de leur bactérie hôte.

Ces résultats pourront conduire à des dispositifs miniaturisés, fonctionnalisés par différents bactériophages, et permettant de tester plus rapidement, en quelques heures, la sensibilité d'une bactérie pathogène vis à vis d'un virus spécifique. Et puisque nous sommes confrontés à une croissance des souches antibiotico-résistantes, les phages représentent une sérieuse alternative comme traitement antibiotique, pourvu qu'ils puissent être produits à grande échelle, et de manière caractérisée et reproductible à des fins thérapeutiques.

Contact : **Yoann Roupioz**  
SYMMES  
Système Moléculaires et nanoMatériaux  
pour l'Énergie et la Santé

## RÉFÉRENCE

O'Connell L, Marcoux P R, Perlemoine P and Roupioz Y

Approaching the Geometric Limit of Bacteriophage Conjugation to Gold: Synergy of Purification with Covalent and Physisorption Strategies  
ACS Biomaterials Science & Engineering 2023



Vue d'artiste : explosion de bactéries après leur infection par un bactériophage. © Larry O'Connell

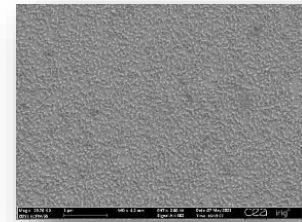


Image par microscopie électronique des bactériophages sur une surface recouverte d'or.

# Nouveaux échangeurs cryogéniques pour le HL-LHC au CERN

Le CERN Centre Européen sur la Recherche Nucléaire à Genève, a souhaité intensifier la **luminosité** du collisionneur de particules Large Hadron Collider afin d'accroître le nombre et l'énergie des **collisions hadroniques**. Pour cela, l'intensité du champ magnétique sera augmentée autour des zones de collision à l'aide de nouveaux aimants supraconducteurs refroidis dans un bain d'**hélium superfluide** pressurisé avec des échangeurs thermiques pour évacuer le flux d'énergie.

Les chercheurs de l'Irigr ont conçu à l'origine le système de refroidissement à 1,8 K (proche du zéro absolu) pour les 27 km d'aimants supraconducteurs installés dans le LHC. Leur défi a consisté à concevoir un nouvel échangeur capable d'extraire 70 W de puissance thermique au niveau des quatre futurs **aimants supraconducteurs « D2 »** proches des zones de collision où sont installés les détecteurs, et de limiter l'élévation de température à 220 mK à 1,8 K (respectivement 55 mK à 2 K). Autre contrainte forte, ce nouvel échangeur doit être compact (dimensions inférieures à 0,5 m) pour s'insérer dans l'espace contraint du LHC.

En France, l'Irigr est le seul institut de recherche qui dispose d'une station cryogénique avec un réfrigérateur hélium capable d'extraire jusqu'à 400 W thermique à 1,8 K : ce banc de test unique a permis de caractériser les performances du prototype d'échangeur pour les aimants D2 demandés par le CERN (figures 1 et 2).

Fort de ces résultats, les chercheurs doivent maintenant fournir des échangeurs de série, intégrant des interfaces mécaniques spécifiques et une fiabilité à long terme, telles qu'exigées pour le LHC. Un de ces échangeurs, choisi au hasard, vient de passer avec succès tous les tests thermiques au sein de la station d'essais à 1,8 K de l'Irigr. Les performances de l'échangeur pour extraire 70 W thermiques sont conformes aux prédictions du code de dimensionnement DSBT, et nettement supérieures aux demandes du CERN puisqu'il dispose d'une marge d'élévation en température proche de deux fois celle correspondante aux spécifications (cf. figure 3).

Les échangeurs de série peuvent maintenant être livrés au CERN et intégrés dans les aimants D2 pour leur installation finale dans le LHC. Ces résultats sont une première mondiale. Ils combinent un design intégré et une modélisation prenant en compte les interfaces mécaniques et la loi de chaleur spécifique de l'hélium superfluide. Ces études contribuent à la notoriété de l'Irigr et sa station d'essais hélium offrant une adaptabilité remarquable pour répondre aux défis concernant les accélérateurs, les réacteurs de fusion, ou les fermes d'ordinateurs quantiques.

Contact : **Bernard Rousset**  
DSBT  
Département des Systèmes Basses  
Températures



Figure 1 : Vue intérieure de l'échangeur de chaleur avec faisceaux de tubes de cuivre.



Figure 2 : Vue extérieure de l'échangeur avant essais dans la station de tests à 1,8 K de l'Irigr.

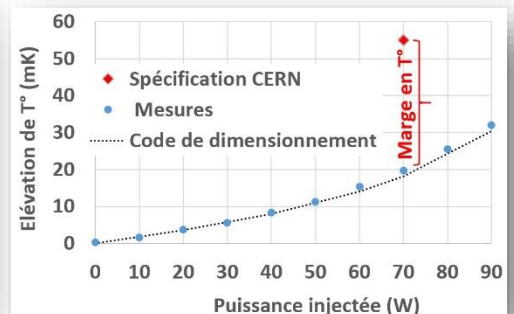


Figure 3 : Courbes de performances thermiques à 2 K - 1,3 bar montrant l'accord entre mesures et code prédictif.

- **Luminosité** : en physique des particules, la luminosité correspond aux nombres de collisions.
- **Collision Hadronique** : Le LHC fait entrer en collision des protons à une énergie allant jusqu'à 14 TeV.
- **Aimant supraconducteur D2** : Ces aimants seront installés dans le HL-LHC afin de recombinaison les paquets de particules dans les zones d'interaction de part et d'autre des points d'interaction (collisions).
- **Hélium Superfluide** : Etat particulier de l'hélium liquide en dessous d'une température de transition proche de 2,2K

## REFERENCE

**Bernard Rousset and François Millet**

Performance assessment of multi-tube He II/He II heat exchanger using a single tube sample  
Cryogenics 2023



## La recombinaise CreERT2 activée par le tamoxifène intoxique le souriceau

La souris est couramment utilisée comme modèle d'étude des maladies humaines ou pour élucider l'activité et la fonction des gènes *in vivo*.

Le tamoxifène est fréquemment utilisé dans les recherches utilisant des souris génétiquement modifiées car il permet d'induire le transfert, vers le noyau des cellules, d'une recombinaise, la CreERT2 qui peut alors supprimer les gènes cibles que l'on souhaite étudier.

Les chercheurs de l'Iríg ont administré du tamoxifène chez le souriceau CreERT2. Dix jours après, ils ont observé une morbidité et une mortalité accrues : le bébé souris avait cessé de prendre du poids et présentait des défauts hématologiques avec une anémie sévère et une désorganisation du lit vasculaire de la moelle osseuse (voir figure). Ces résultats indiquent que l'activation de CreERT2 par le tamoxifène réduit considérablement la prolifération cellulaire dans la moelle osseuse et la rate. Ils sont dus à un effet secondaire toxique de la Cre recombinase. Cette découverte permet d'améliorer l'utilisation de ces modèles pour une interprétation plus juste du phénotype observé et un gain de temps et de ressources.

Les résultats de cette étude montrent la nécessité d'inclure dans les plans d'expérience des contrôles CreERT2 injectés au tamoxifène, sans ciblage du gène étudié.

Contact : **Claire Bouvard**

Biosanté

Biologie et Biotechnologies pour la Santé

### RÉFÉRENCE

**Rossi M, Salomon A, Chaumontel N, Molet J, Bailly S, Tillet E and Bouvard C**

Probing Warning regarding hematological toxicity of tamoxifen activated CreERT2 in young Rosa26CreERT2 mice  
*Scientific Reports* 2023

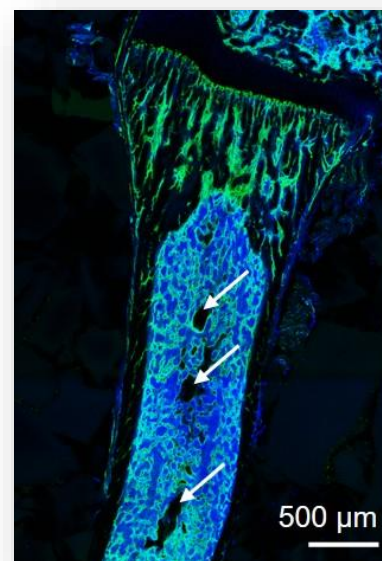


Figure : Après avoir administré du tamoxifène au souriceau CreERT2, la moelle osseuse du fémur présente des défauts (au niveau des flèches). Image par microscopie confocale : noyau des cellules (bleu) et vaisseaux sanguins (vert).

## Un modèle cellulaire 3D pour étudier le métabolisme des nanoparticules d'argent dans le foie

Les nanoparticules d'argent (Ag) sont utilisées comme biocides, activité due à la libération d'Ag sous forme ionique. Or, des études ont estimé que nous ingérons entre 1 et 80 µg d'Ag par jour. Nous en absorbons également par voie sanguine lors de l'utilisation de dispositifs médicaux tels que les cathéters ou certains pansements. Afin d'en mesurer l'impact sur notre santé, les chercheurs étudient le métabolisme des nanoparticules d'argent dans le foie. Cependant, les modèles cellulaires humains classiques ne permettent pas une étude exhaustive *in vitro* des nanoparticules. Et les modèles animaux n'apportent pas suffisamment d'informations sur les mécanismes cellulaires et moléculaires.

Les chercheurs de l'Iríg et du synchrotron ESRF à Grenoble, ont développé un modèle cellulaire 3D hépatique [1]. Ce modèle permet ainsi d'observer *in vitro* des phénomènes se produisant *in vivo*, mais que les modèles cellulaires 2D standards ne peuvent pas reproduire, comme l'excrétion des nanomatériaux transformés dans la bile. En combinant plusieurs techniques de caractérisation, telles que la nano-imagerie par fluorescence X, la spectroscopie d'absorption des rayons X, et la microscopie électronique, les chercheurs ont étudié le comportement des nanoparticules dans le foie [2]. Les hépatocytes, cellules majoritaires du foie, ont été exposées d'une part à des nanoparticules d'argent, et d'autre part à un sel d'argent, afin de simuler une injection ou une ingestion. Les images par rayons X et par microscopie électronique 3D ont révélé la diffusion d'argent dans différents compartiments intracellulaires (cytosol, noyaux, ...) ; les images ont aussi montré l'accumulation d'argent dans les vacuoles (Figure A flèche blanche) et leur excrétion dans les canaux collectant la bile (Figure B flèche blanche). Des analyses de spéciation ont montré d'une part la formation d'espèces organiques argent-soufre Ag<sub>2</sub>S, déjà observées dans les cultures cellulaires 2D [3] et d'autre part la formation d'espèces inorganiques Ag<sub>2</sub>S qui n'avaient pas été observées auparavant.

Grâce à un pseudo-organe du foie utilisé comme modèle cellulaire, et par combinaison d'outils de caractérisations pour la nano-imagerie élémentaire et structurale et la spectroscopie atomique, cette étude révèle les mécanismes subcellulaires et moléculaires associés à la transformation des nanoparticules d'argent dans le foie. Ces résultats permettent de mieux appréhender les effets sur notre santé, et contribuent au développement de nouveaux nanomatériaux plus sûrs.

### RÉFÉRENCES

[1] **Raj Sharma V, Shrivastava A, Gallet B, Karepina E, Charbonnier P, Chevallet M, Jouneau PH and Deniaud A**

Canalicular domain structure and function in matrix-free hepatic spheroids  
*Biomaterials Science* 2023

[2] **Rekik Y, Tardillo Suárez V, Raj Sharma V, Chevallet M, Gallet B, Falconet D, Charbonnier P, Kieffer I, Tucoulou R, Jouneau PH, Veronesi G and Deniaud A**

Deciphering silver nanoparticle fate in liver up to biliary excretion using HepG2/C3A spheroids in scenarios mimicking different exposure pathways  
*Environmental Science: Nano* 2023

[3] **Tardillo Suárez V, Karepina E, Chevallet M, Gallet B, Cottet-Rousselle C, Charbonnier P, Moriscot C, Michaud-Soret I, Bal W, Fuchs A, Tucoulou R, Jouneau PH, Veronesi G and Deniaud A**

Nuclear translocation of silver ions and hepatocyte nuclear receptor impairment upon exposure to silver nanoparticles  
*Environmental Science: Nano* 2020

*Environmental Science: Nano* 2020

*Environmental Science: Nano* 2020

Contacts : **Aurelien Deniaud**

et **Giulia Veronesi**

LCBM

Laboratoire Chimie et Biologie des Métaux

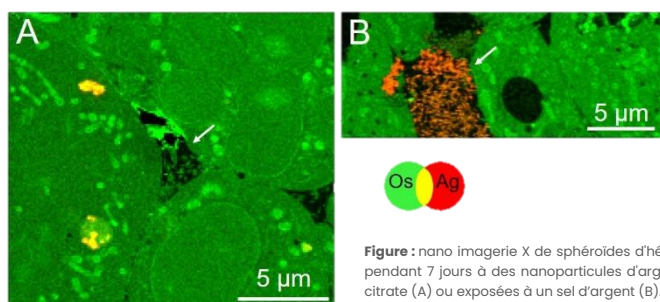


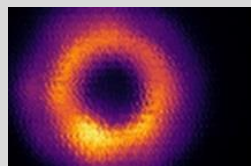
Figure : nano imagerie X de sphéroïdes d'hépatocytes exposés pendant 7 jours à des nanoparticules d'argent recouvertes de citrate (A) ou exposées à un sel d'argent (B).

# Autres actualités scientifiques de l'Irig



Capteur optique sans lentille pour les hôpitaux du Bénin

[Lire page web Pheliqs](#)



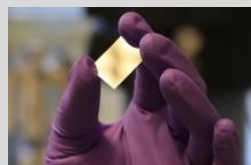
Exaltation de l'émission à zéro-phonon de centres colorés du silicium par effet Purcell dans un micro-anneau de silicium

[Lire page web Pheliqs](#)



La physique quantique dans la vie quotidienne

[Lire page web Pheliqs](#)



Empêcher les bactéries de se déposer et proliférer dans la station spatiale internationale (ISS)

[Lire page web Symmes](#)

## Communiqués de presse - Prix - Autres



Samuel Fauvel - Prix de la meilleure communication orale du congrès annuel de la Société Chimique de France

[Lire page web Symmes](#)



Alexandra Yeromina - Prix du meilleur poster de la conférence NaNaX10 par la Royal Society of Chemistry

[Lire page web Symmes](#)

Biosciences et bioingénierie pour la Santé

Unité Inserm13  
CEA-Inserm-UGA  
[www.BGE-lab.fr](http://www.BGE-lab.fr)

Biologie et Biotechnologie pour la Santé

UMR\_S 1292  
CEA-Inserm-UGA  
[biosante-lab.fr](http://biosante-lab.fr)

Chimie et Biologie des Métaux

UMR 5249  
CEA-CNRS-UGA  
[www.CBM-lab.fr](http://www.CBM-lab.fr)

Institut de Biologie Structurale

UMR 5075  
CEA-CNRS-UGA  
[www.IBS.fr](http://www.IBS.fr)

Modélisation et Exploration des Matériaux

UMR  
CEA-UGA  
[www.MEM-lab.fr](http://www.MEM-lab.fr)

Photonique Électronique et Ingénierie Quantiques

UMR  
CEA-UGA  
[www.pheliqs.fr](http://www.pheliqs.fr)

Physiologie Cellulaire & Végétale

UMR CEA-CNRS-UGA-Inrae  
[www.LPCV.fr](http://www.LPCV.fr)

Département des Systèmes Basses Températures

UMR CEA-UGA  
[www.d-SBT.fr](http://www.d-SBT.fr)

Spintronique et Technologie des Composants

UMR 8191 CEA-CNRS-UGA-G-INP  
[www.Spintec.fr](http://www.Spintec.fr)

Systèmes Moléculaires et nanoMatériaux pour l'Énergie et la Santé

UMR 5819  
CEA-CNRS-UGA  
[www.Symmes.fr](http://www.Symmes.fr)

**irig.cea.fr** institut de recherche interdisciplinaire de Grenoble

CEA  
38054 Grenoble cedex 9

**Responsables :**

Pascale Bayle-Guillemaud et Annie Andrieux

**Directrice de la publication**

Pascale Bayle-Guillemaud

**Editeur et format électronique**

Alain Farchi

**Comité de rédaction**

Jean-Philippe Attané, Dominique Bourgeois, Claire Bouvard, Aurélien Deniaud, Pascal Pochet, Yoann Roupioz, Bernard Rousset, Manuel Théry, Giulia Veronesi, Alain Farchi

