

À la une de l'Irig

Les quantum dots de phosphure d'indium voient rouge, infrarouge

Les quantum dots de phosphure d'Indium sont utilisés pour améliorer le rendu de couleurs des écrans de télévision car ils émettent une fluorescence intense dans toute la gamme du spectre visible. Au-delà, la gamme du proche infrarouge est destinée aux applications comme l'imagerie biomédicale, les photodétecteurs et les cellules solaires.

Dans l'imagerie *in vivo*, l'infrarouge augmente le rapport signal sur bruit, en minimisant l'absorption et la diffusion par le milieu biologique (Fig. 1a), afin d'effectuer une analyse plus en profondeur.

Dans le cas du photovoltaïque, le rendement des cellules solaires est amélioré par la capture des photons sur une gamme étendue du visible au proche infrarouge (Fig. 1b).

L'intérêt principal des quantum dots est de pouvoir ajuster leurs propriétés optiques selon leur taille de quelques nanomètres. La largeur de la bande interdite qui sépare la bande de valence de la bande de conduction dans l'InP est de 1,35 eV ; ce « gap » d'énergie correspond à une longueur d'onde lumineuse d'environ 920 nm. Les procédés existants permettent de synthétiser des quantum dots de phosphure d'indium à une taille maximale de 6 nm seulement, ce qui limite la longueur d'onde d'émission à environ 630 nm (rouge).

Depuis une quinzaine d'années, les chercheurs de l'Irig [collaboration] réalisent la synthèse de nouveaux types de quantum dots, sans métaux lourds toxiques. Ils ont développé un nouveau procédé pour synthétiser des quantum dots d'InP à une taille supérieure à 10 nm, afin d'obtenir une luminescence infrarouge jusqu'à 730 nm. Le procédé consiste à utiliser un nouveau précurseur à base d'indium qui sert à la fois de source d'indium et de réducteur pour le précurseur de phosphore de type aminophosphine.

Autre avantage, la largeur de raie de luminescence dans le proche infrarouge est plus étroite, car elle est moins sensible aux variations de taille.

Grâce au développement de leurs propriétés optiques, les quantum dots de phosphure d'indium deviennent un matériau prometteur dans les gammes visibles et infra-rouge. Ces nanoparticules, sans métaux lourds, remplacent avantageusement les matériaux à base de sélénure de cadmium, ou de sulfure de plomb, depuis que l'utilisation de ces éléments toxiques est restreinte par la directive Européenne RoHS.

RÉFÉRENCE

Yadav R. Kwon Y. Rivaux C. Saint-Pierre C. Ling WL and Reiss P

Narrow Near-Infrared Emission from InP QDs Synthesized with Indium(I) Halides and Aminophosphine
Journal of the American Chemical Society 2023

Contact : Peter REISS
SyMMES
Système Moléculaires et nanoMatériaux
pour l'Énergie et la Santé

Collaboration

MEM pour les analyses structurales. Ces résultats ont été obtenus dans le cadre d'un projet ANR (18-CE09-0039-01 FLUO), impliquant le Laboratoire de Physique & Chimie des Nano-Objets LPCNO à l'INSA Toulouse, et l'entreprise ALEDIA à Grenoble

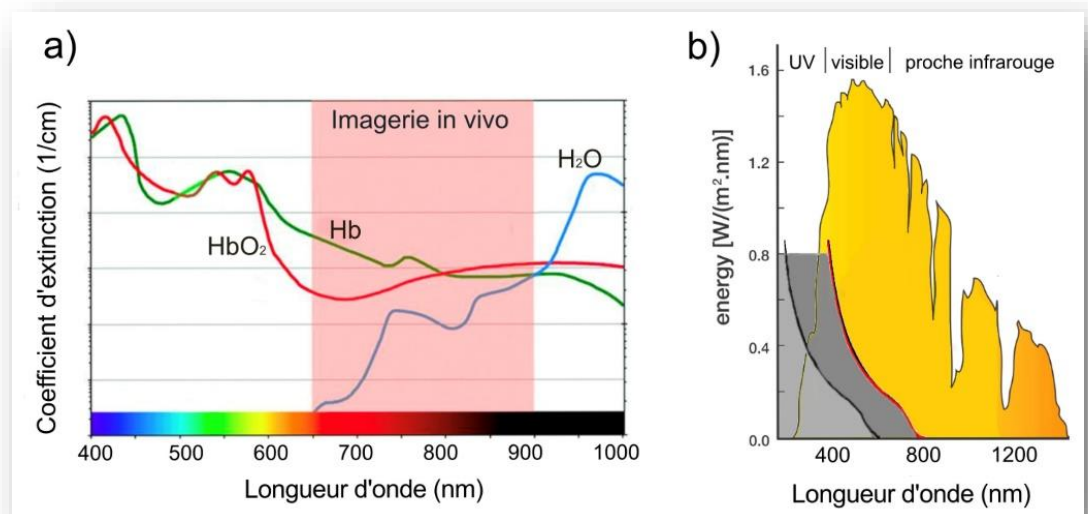


Figure 1a) : pour l'imagerie *in vivo*, l'absorption réduite entre 650 et 900 nm rend cette gamme spectrale particulièrement adaptée, notamment à cause de l'absorption réduite de l'hémoglobine (Hb, vert), l'oxyhémoglobine (HbO₂, rouge) et l'eau (bleu).
Figure 1b) : recouvrement du spectre d'émission solaire (jaune) et des spectres d'absorption des quantum dots d'InP : seuil à 630 nm pour les tailles jusque 6 nm selon la synthèse classique (gris clair) et selon la synthèse Irig, le seuil augmente à 730 nm pour des quantum dots de 10 nm (gris foncé).

Elucidation du déclenchement de l'infection des bactéries par leur virus

Les bactéries pathogènes deviennent de plus en plus résistantes aux antibiotiques. Des alternatives doivent être trouvées et validées pour éviter de retomber dans l'ère pré-antibiotique. Le recours à des bactériophages, virus ennemis naturels des bactéries, est une des alternatives prometteuses, en agriculture, en médecine vétérinaire ainsi qu'en santé humaine. Soixante pour cent des phages connus sont composés d'une capsid protégeant l'ADN viral et d'une longue queue flexible, qui sert à reconnaître l'hôte via une ou plusieurs protéines de liaison au récepteur RBP (Receptor Binding Protein) situées à l'extrémité de la queue. L'interaction RBP-récepteur déclenche l'infection : ouverture de la capsid, perforation de la paroi bactérienne et injection de l'ADN viral dans le cytoplasme de l'hôte. Une fois injecté, l'ADN viral prend le contrôle de la bactérie et la convertit en une usine à produire des phages ; le cycle se termine par l'explosion de la bactérie et la libération des centaines de nouveau virions.

Dans cette étude, les chercheurs de l'Irig ont analysé l'infection de la bactérie *E. coli* par le bactériophage T5. Cette infection est initiée par la liaison irréversible de la protéine pb5, RBP de T5, à son récepteur bactérien, un transporteur de fer de la membrane externe de *E. coli*, FhuA. Grâce aux avancées en microscopie électronique, tant au niveau des microscopes et caméras, que des logiciels d'analyse des images obtenues, les chercheurs ont réussi à déterminer la structure de l'extrémité de la queue du phage T5 avant et après interaction avec FhuA reconstitué dans un petit patch de membrane (nanodisque), ainsi que la structure du complexe FhuA-pb5. Ces structures de résolution atomique permettent de comprendre comment l'interaction entre pb5 et FhuA, c'est à dire la reconnaissance de l'hôte par le phage, déclenche le processus d'infection. Cela précise les mécanismes moléculaires mis en jeu lors des différentes étapes, depuis l'interaction entre le phage et son

récepteur bactérien, jusqu'à la perforation de la membrane externe de l'hôte, en passant par l'ouverture de la queue du phage et son ancrage à la membrane.

Ces études contribueront à un meilleur contrôle et une meilleure utilisation en santé, biotechnologie etc... de ces nanomachines fascinantes que sont les bactériophages.

RÉFÉRENCES

Linares R. Arnaud CA. Effantin G. Darnault C. Epalle NH. Boeri Erba E. Schoehn G and Breyton C

Structural basis of bacteriophage T5 infection trigger and *E. coli* cell wall perforation.

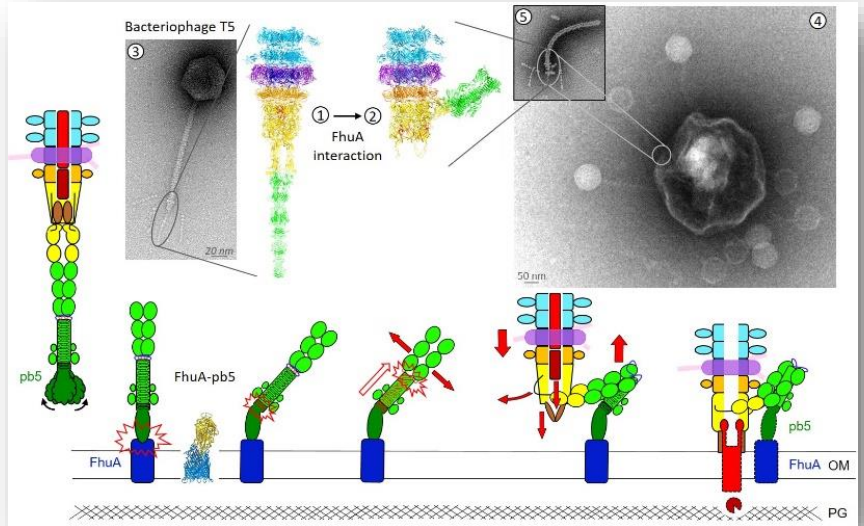
Science Advances 2023

Degroux S. Effantin G. Linares R. Schoehn G and Breyton C

Deciphering Bacteriophage T5 Host Recognition Mechanism and Infection Trigger.

Journal of Virology 2023

Contact : Cécile BREYTON
IBS
Institut de Biologie Structurale



Mécanisme moléculaire du déclenchement de l'infection de *E. coli* par le bactériophage T5.

Au centre sont représentées, en ruban, les structures de l'extrémité de la queue du phage T5 avant et après interaction avec FhuA. De part et d'autre, images en coloration négative du phage T5 isolé (gauche) et interagissant avec une minicellule (droite). Insert à droite : queue de phage T5 en interaction avec FhuA en nanodisque. Schématisé En dessous sont détaillées de façon schématisée les étapes du mécanisme moléculaire, signifié en rouge ou par des flèches, allant de la reconnaissance de l'hôte par le phage jusqu'à l'ouverture de la queue du phage, son ancrage à la membrane et la perforation de cette dernière. OM : Outer-membrane, PG : Peptidoglycane

Dynamique des électrons dans un nanofil supraconducteur

Dans un matériau supraconducteur à l'état fondamental, les électrons forment des paires dites de Cooper. Mais, plusieurs effets parasites, initiés par la température, un champ électromagnétique, ou un photon incident, peuvent rompre ces paires et libérer les électrons qui redeviennent célibataires. La présence de ces électrons libres, ou quasi-particules, est le signe d'un affaiblissement des propriétés supraconductrices : cela peut nuire au bon fonctionnement de circuits supraconducteurs tels, que les Qbits ; ou au contraire, ces effets sont mis à profit pour réaliser un détecteur de photons.

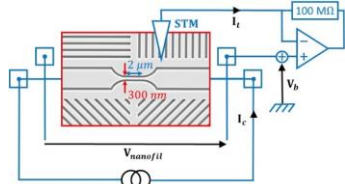


Schéma du dispositif expérimental

Le nanofil de niobium occupe le centre de l'image (cadre rouge). La pointe du microscope STM (triangle bleu) permet d'injecter un faible courant électrique par effet tunnel (ainsi appelé car la pointe ne touche pas le nanofil). Simultanément, un détecteur mesure le courant critique du nanofil.

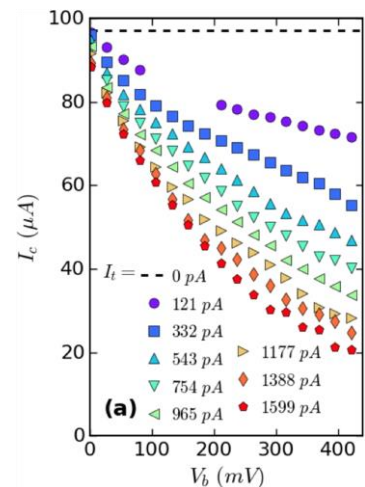
Les chercheurs de l'Irig ont étudié la dynamique de formation des quasi-particules grâce à un dispositif plongeant un microscope à effet tunnel (STM) à température très proche du zéro absolu (0,050 K). La pointe fine du STM permet d'injecter des électrons dans le nanofil supraconducteur, en contrôlant très précisément leur énergie électrique par la tension, et leur flux par le courant tunnel. Chaque électron injecté cède son énergie au nanofil, par interaction coulombienne directe avec les autres électrons liés par paires de Cooper, ou bien par l'intermédiaire d'un phonon, c'est-à-dire une vibration du réseau atomique.

Chaque paire de Cooper brisée libère ses deux quasi-particules très énergétiques qui vont à leur tour briser d'autres paires de Cooper. Cette cascade conduit à la formation d'un nuage de quasi-particules, constituant ainsi un point chaud qui peut limiter le courant critique du matériau supraconducteur, et donc réduire sa capacité à transporter le courant sans perte et sans dissipation, la supraconductivité.

Les chercheurs ont réussi à observer l'injection de quasi-particules dans un nanofil de niobium (300 nm de large et de 2 μm de long) en mesurant le courant critique du nanofil (quelques 100 μA) fortement réduit par le courant tunnel, pourtant un million de fois plus faible, des électrons injectés. Cet affaiblissement est proportionnel au produit du courant tunnel multiplié par l'énergie des électrons injectés. Il est dû à un effet de chauffage classiquement décrit par un modèle thermique.

De plus, en examinant de petits écarts au modèle thermique mesurés pour différentes valeurs du courant tunnel, les chercheurs ont modélisé la dynamique de formation du nuage de quasi-particules : ils ont pu déterminer un temps de relaxation de l'énergie de ces électrons libres de l'ordre de 40 ps.

Ces résultats fondamentaux permettront d'optimiser les performances des détecteurs de photons, ou de protéger les Qbits de l'empoisonnement par ces quasi-particules.



Mesure du courant critique en fonction de la tension d'injection pour différents courants tunnel.

Le trait horizontal en pointillés indique la valeur du courant critique sans quasi-particules injectées.

RÉFÉRENCE

Jalabert T. Driessen EFC. Gustavo F. Thomassin JL. Levy-Bertrand F and Chapelier C

Thermalization and dynamics of high-energy quasiparticles in a superconducting nanowire probed by scanning critical current microscopy.

Nature Physics 2023.

Contact : Claude CHAPÉLIER
Pheligs
Photonique Électronique et Ingénierie
Quantiques

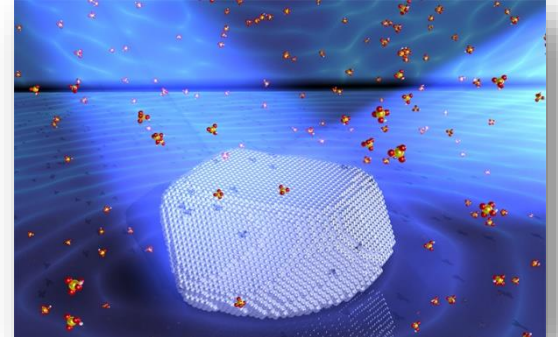
Comment les facettes d'une nanoparticule de platine contrôlent les propriétés catalytiques

Les nanoparticules présentent un avantage significatif par rapport aux matériaux massifs : leur taille nanométrique augmente considérablement les surfaces de contact pour accroître leur activité et leur sélectivité catalytique. Cela permet de réaliser des procédés chimiques en utilisant moins de réactifs, de réduire la consommation énergétique, et donc de baisser les coûts. Cependant, ces particules étant très complexes, il n'avait pas été possible jusque-là de les caractériser individuellement. Les mesures étant effectuées à partir d'au moins une centaine de nanoparticules, les informations sur les propriétés structurales et les contributions respectives de leurs différents sites catalytiques n'étaient donc connues qu'en moyenne.

Grâce au rayonnement X à très haute résolution du synchrotron de l'ESRF, il est devenu possible de caractériser une nanoparticule de platine unique avec une résolution de quelques nanomètres. Les chercheurs de l'Irig, en collaboration avec le CNRS-LEPMI et l'ESRF, ont ainsi pu déterminer précisément la structure, la forme, la nature de ses facettes ainsi que la distribution de ses déformations, via le déplacement de ses atomes. De plus, le faisceau extrêmement brillant de l'ESRF a permis de réaliser ces mesures durant l'activité catalytique de la nanoparticule, en condition électrochimique, ce qui n'avait jamais été fait auparavant dans un milieu liquide. Contrairement à ce qui était admis, ces études ont révélé que la déformation induite par les réactions catalytiques se propage de façon hétérogène dans tout le volume de la nanoparticule de platine et non pas seulement à sa surface, en particulier au niveau des arêtes, des coins et des facettes. De fait, la déformation d'une particule est intimement liée à l'activité catalytique.

Plus généralement, la prouesse de réaliser ces mesures operando permet de comprendre comment améliorer l'efficacité des nanocatalyseurs, utilisés notamment dans les piles à combustible et les électrolyseurs de l'eau.

Les chercheurs compléteront leurs travaux par des études théoriques. L'ensemble des résultats pourrait être appliqué pour synthétiser des catalyseurs en optimisant leur activité, la sélectivité et la durée de vie.



Vue artistique des facettes d'une nanoparticule de platine (crédit : C.Atlan & C.Chatelier / CEA)

RÉFÉRENCE

Atlán C. Chatelier C. Martens I. Dupraz M. Viola A. Li N. Gao L. J. Leake S. Schüllli TU. Eymery J. Maillard F and Richard M-I Imaging the strain evolution of a platinum nanoparticle under electrochemical control. *Nature Materials* 2023

Contact : Marie-Ingrid RICHARD
Clément ATLAN
MEM
Modélisation et Exploration des Matériaux

Nouvelles données concernant la régulation de la fixation du CO₂ chez les microalgues

Le Quenching of Energy (qE) et le CO₂ Concentrating Mechanism (CCM) sont cruciaux pour la survie des microalgues. Des mutants déficients en qE ne peuvent pas survivre à une exposition à une lumière intense, et des mutants déficients en CCM ne peuvent pas croître de manière photoautotrophe (c'est-à-dire en utilisant la lumière comme source d'énergie et le dioxyde de carbone comme source de carbone) à moins d'être supplémentés avec des taux élevés de CO₂. Alors que les deux processus étaient traditionnellement étudiés séparément, les chercheurs de l'Irig [collaboration] ont démontré que ces deux processus sont largement corégulés et partagent des éléments de régulation communs (Figure).

On considérait jusqu'à présent que la présence de lumière était indispensable à l'activation du qE et du CCM. Les travaux réalisés montrent de façon inattendue que l'expression des gènes impliqués dans ces deux processus est largement contrôlée par la disponibilité du CO₂. Cette découverte suggère que l'impact de la lumière sur la régulation de l'expression des gènes est souvent indirect et reflète les changements dans les niveaux intracellulaires de CO₂, définis par l'équilibre entre la fixation du CO₂ dans les chloroplastes et la génération de CO₂ par la respiration mitochondriale. Ces observations ajoutent une nouvelle facette concernant le rôle du CO₂ dans les microalgues photosynthétiques. Ainsi, en plus d'être un substrat pour la photosynthèse, le CO₂ est également une molécule de signalisation qui régule l'expression des gènes en réponse aux changements de lumière et de la disponibilité du CO₂.

Ces découvertes permettent de mieux comprendre les mécanismes moléculaires qui régissent le métabolisme du CO₂ photosynthétique et peuvent être utilisées pour permettre à la biosphère de réagir plus efficacement à la régulation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère, mais aussi de progresser vers une économie durable à faible teneur en carbone pour exploiter pleinement le potentiel biotechnologique des microalgues.

Collaboration
Consortium international dirigé par Dimitris Petroustos

Contact : Dimitris PETROUSTOS
LPCV
Laboratoire Physiologie Cellulaire & Végétale

Les régulateurs transcriptionnels communs identifiés dans cette étude sont :

- CIA5, initialement établi comme régulateur principal de la CCM, est maintenant démontré comme régulateur crucial de l'expression des gènes et des protéines impliquées dans la photoprotection [1]
- le facteur de transcription LCR1, initialement identifié comme régulateur de la CCM, s'avère également contrôler l'expression de la photoprotection2
- QER7, un facteur transcriptionnel dont la fonction est inconnue à ce jour chez Chlamydomonas, agit comme répresseur de l'expression des gènes liés à la qE et à la CCM sous le contrôle du photorécepteur de la lumière bleue, la phototropine [2].

RÉFÉRENCES

Águila Ruiz-Sola M. Flori S. Yuan Y. Villain G. Sanz-Luque E. Redekop P. Tokutsu R. Küken A. Tschla A. Kepesidis G. Allorent G. Arend M. Iacono F. Finazzi G. Hippler M. Nikoloski Z. Minagawa J. Grossman AR and Petroustos D. Light-independent regulation of algal photoprotection by CO₂ availability. *Nature Communications* 2023

Arend M. Yuan Y. Águila Ruiz-Sola M. Omranian N. Nikoloski Z and Petroustos D

Widening the landscape of transcriptional regulation of green algal photoprotection.

Nature Communications 2023

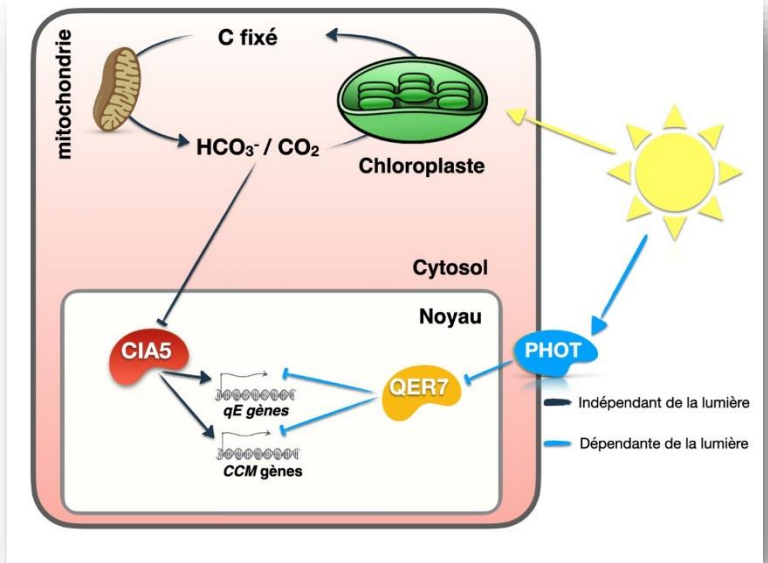


Figure : Une augmentation de la respiration ou une diminution de la photosynthèse entraîne un taux élevé de CO₂ intracellulaire, qui réprime les gènes du CCM et du qE en inactivant l'effecteur protéique CIA5. L'exposition à la lumière forte augmente le taux de fixation du CO₂, ce qui entraîne un appauvrissement en CO₂ et l'activation de CIA5, qui active les gènes liés au qE et au CCM. La voie CIA5-dépendante est indépendante de la lumière. La lumière a un impact sur l'expression des gènes du qE et du CCM par l'intermédiaire de la phototropine. Cette protéine régulatrice agit par un mécanisme de signalisation en cascade, en réprimant le facteur de transcription QER7, qui réprime à son tour les gènes du CCM et du qE. La voie PHOT-QER7 est indépendante de CIA5.

L'origine de l'Univers sera scrutée par le satellite cryogénique LiteBIRD

Le lointain et mystérieux univers primordial fait l'objet de nombreuses recherches en astrophysique pour appréhender toute la dynamique complexe de notre univers. Pour le détecter, le satellite japonais LiteBIRD sera équipé de détecteurs ultrasensibles refroidis à la température de 0.1 K (zéro absolu) grâce à une seule chaîne cryogénique pour tout l'ensemble. Or, du fait de l'accumulation de la chaleur reçue par le soleil, de l'énergie rayonnée et du fonctionnement, la température du satellite s'élève à 300 K. C'est pourquoi, des panneaux radiatifs sont prévus pour d'abord maintenir la température à 35 K. Puis, un premier réfrigérateur abaisse la température de l'enveloppe des instruments à 4,8 K. Et puis, un second système refroidit le premier étage des télescopes à 1,8 K.

L'un des deux télescopes à bord (Medium and High Frequency Telescope) sera fourni par les Européens. Reconnus internationalement pour leurs nombreuses années d'expertises, les scientifiques de l'Irig [collaboration] ont été sollicités pour relever le défi de concevoir et développer un dispositif original, constitué par une seule chaîne cryogénique pour l'ensemble de tous les détecteurs.

Pour cela, les chercheurs sont parvenus à optimiser la production de froid grâce à l'introduction de nouveaux matériaux magnétocaloriques, comme l'YBIGG (Ytterbium Gallium Garnet) ou le CPA (chrome potassium alum), qui changent de température sous l'effet de la variation du champ magnétique selon le principe de désaimantation adiabatique.

De plus, les chercheurs ont spécialement développé le système de réfrigération dont les deux derniers étages doivent être maintenus à de très basses températures de 0,35K et 0,1 K respectivement.

Pour l'étage à 0,35 K, les caractéristiques de chacun des composants ont été contrôlées, puis ces derniers ont été minutieusement assemblés pour former un ensemble

intégrable très compact qui fonctionne parfaitement. Il s'agira de relever les différentes capacités de réfrigération grâce à de prochaines mesures.

Pour le dernier étage à 0,1 K, un interrupteur thermique supraconducteur performant a été réalisé et installé. Son fonctionnement a été validé par des tests montrant qu'il a permis d'atteindre le facteur de coupure nécessaire à l'efficacité souhaitée du cryoréfrigérateur.

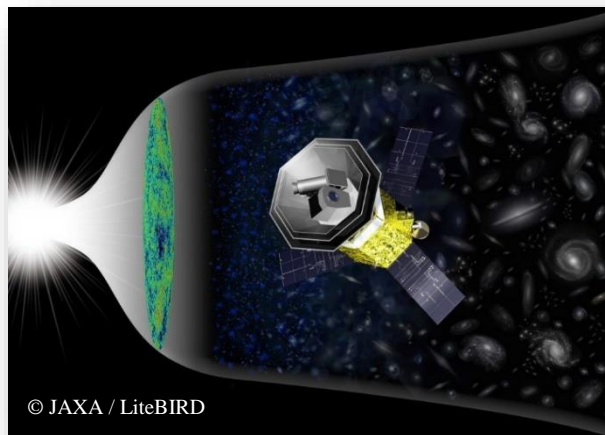
Le travail d'architecture d'ensemble des différents composants thermiques est mené en parallèle des développements technologiques afin de proposer les meilleurs couplages entre les différents sous-systèmes.

Le lancement du satellite est annoncé pour 2032, dans la suite du satellite Planck en 2009. Le budget est estimé à 500 M€, ce qui est comparable aux missions de l'ESA. L'ensemble des équipes contribuant au projet LiteBIRD établissent des rapports d'étude pour estimer la faisabilité du projet fin 2023. Le modèle d'ingénierie du réfrigérateur et des liens thermiques seront livrés en 2025, puis les modèles de vol en 2029.

Contact : Thomas PROUVE
DSBT
Département des Systèmes Basses
Températures

RÉFÉRENCE

LittleBIRD collaboration (+100 authors not shown)
Probing Cosmic Inflation with the LiteBIRD Cosmic
Microwave Background Polarization Survey,
PTEP 2023



© JAXA / LiteBIRD

Collaboration

Le projet est mené par l'agence spatiale japonaise JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) responsable du satellite et du télescope basses fréquences (LFT). Le télescope moyennes et hautes fréquences (MHFT) est quant à lui européen, sous la responsabilité du CNES. Le Canada et les Etats Unis sont impliqués sur les deux projets au niveau des détecteurs.

Solubilisation des nanoparticules de TiO₂ par un sidérophore bactérien

Avec l'émergence des nanotechnologies, les formes nanoparticulaires de TiO₂ se retrouvent dans un nombre croissant de produits de la vie quotidienne tels que les adhésifs, les écrans solaires, les dentifrices, les cosmétiques ainsi que dans l'industrie alimentaire. Par exemple, l'additif alimentaire TiO₂ E171, contenant une part variable de nanoparticules de TiO₂ en fonction de la source, est interdit par la Communauté européenne depuis le 7 août 2022 mais encore utilisé dans de nombreux pays pour rendre les aliments plus blancs et plus brillants. La quantité moyenne de titane ingérée a été estimée à environ 10-50 mg par personne et par jour.

Communément, la nanoparticule de TiO₂ robuste et chimiquement stable était considéré comme insoluble, alors que sa dissolution pourrait avoir un impact sur les propriétés antimicrobiennes, la toxicité, la santé, et l'environnement. La taille est considérée comme la principale propriété physicochimique affectant la solubilité des nanoparticules ; mais d'autres paramètres tels que la surface, la morphologie et la cristallinité doivent également être pris en compte. La présence de ligands organiques peut également affecter la stabilité de la suspension et conduire à la dissolution des nanoparticules.

Des chercheurs de l'Irig [collaboration] se sont intéressés aux ligands organiques sidérophores, associés au TiO₂. Les bactéries synthétisent et sécrètent des sidérophores pour capter le fer indispensable à leur développement. Ils possèdent une affinité extrêmement élevée pour le fer (III) et ils présentent une grande diversité structurale : en particulier, l'entérobactine (ent) forme le complexe le plus stable avec le fer. La structure de l'entérobactine est composée de 3 groupes catéchol liés à un macrocycle lactone central (**Figure**). L'affinité avec le Fe(III) est si élevée que l'entérobactine est capable de solubiliser le fer présent dans des minéraux tels que l'olivine.

Pour la première fois, les études ont révélé que l'entérobactine se lie de manière covalente et forme des complexes avec le Ti(IV) dont le rayon ionique est presque identique à celui du Fe(III). De plus, le Ti(IV) a une affinité particulière pour les ligands oxygénés et pourrait entrer en compétition avec les métalloprotéines ou biomolécules oxygénées hexacoordinées. Les chercheurs se sont donc intéressés à la liaison de l'entérobactine avec les nanoparticules de TiO₂ qui pourraient ainsi se dissoudre. Ils ont montré que l'entérobactine en se liant à la surface des nanoparticules de TiO₂ favorise la solubilisation

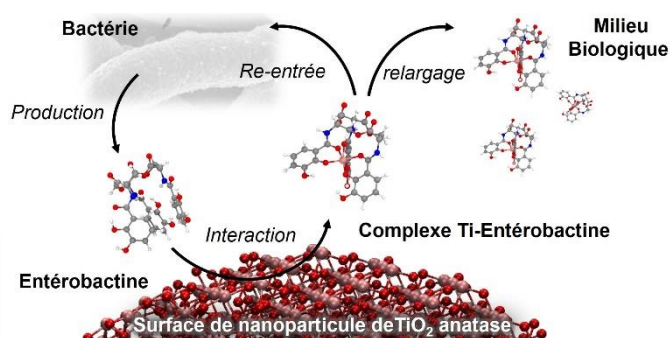
De plus, la dissolution de l'additif alimentaire TiO₂ E171 et l'entrée du complexe Ti-ent dans les bactéries *Escherichia coli* ont également été démontrées. Tous ces résultats soulèvent des questions sur l'impact possible, sanitaire ou dans un écosystème, de l'interaction entre un chélateur de fer puissant tel que l'entérobactine sécrétée par les bactéries et les nanoparticules de TiO₂.

Contact : Isabelle MICHAUD-SORET
LCBM
Laboratoire Chimie et Biologie des Métaux

RÉFÉRENCE

Laisney J. Chevallet M. Fauquant C. Sageot C. Moreau Y. Predoi D. Herlin-Boime N. Lebrun C and Michaud-Soret I
Ligand-Promoted Surface Solubilization of TiO₂ Nanoparticles by the Enterobactin Siderophore in Biological Medium
Biomolecules 2022

Figure : les atomes de titane sont représentés par les sphères roses, les oxygènes en rouge, les azotes en bleus, les carbones en gris et les hydrogènes en blanc.



Collaboration

LCBM, SyMMES, CEA Saclay, Institut national de physique des matériaux en Roumanie.

Avec le soutien financier du LabEx SERENADE (Laboratory of Excellence for Safe(r) Ecodesign Research and Education applied to NANomaterial DEvelopment).

Les capteurs magnétiques se miniaturisent grâce aux jonctions tunnel à transfert de spin

Le principe de ce dispositif électronique est intéressant notamment pour le marché grand public, l'automobile et l'industrie en général. La mesure de champ se fait par la détection de transitions périodiques entre deux états de résistance, soit par une mesure directe du temps ou une conversion par modulation de largeur d'impulsion. C'est une alternative aux capteurs magnétiques classiques à effet hall ou magnéto-résistif. Le capteur magnétique est conçu à partir de jonction tunnel utilisant l'effet de transfert de spin, un composant élémentaire développé pour une mémoire non-volatile, mais habilement mis à profit ici dans un autre contexte. Sa dimension nanométrique est d'une taille plusieurs milliers de fois plus petite comparée aux autres capteurs à effet hall ou à magnéto-résistance. Dans une première itération, le capteur montre déjà des performances comparables : une gamme de détection de 80 mT, une bande de fréquence de 30 kHz, et un très faible niveau de bruit. Tous les composants électroniques utilisés sont standards pour faciliter une intégration dans un circuit intégré.

Contact : Ricardo SOUSA
Spintec
Spintronique et Technologie des
Composants

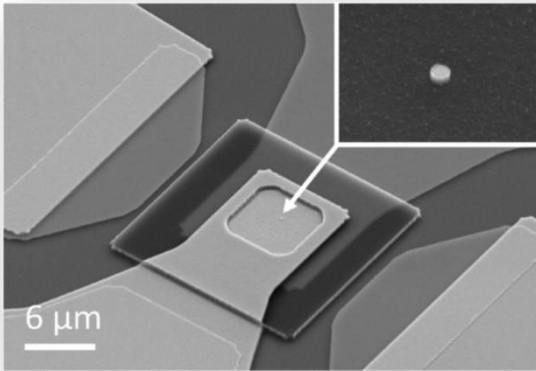
Un inconvénient des capteurs magnétiques conventionnels est que leur fonctionnement implique un compromis entre l'amplitude du signal et la force du champ magnétique à mesurer ; ainsi les capteurs à haute sensibilité ont une gamme de mesure limitée. Pour rappel, la sensibilité du capteur dépend de la variation de résistance par unité de champ magnétique ; et la gamme du capteur est la plage de résistance où la mesure de champ magnétique reste linéaire.

Les chercheurs de l'Irig [collaboration] ont développé un capteur basé sur une jonction tunnel magnétique à couple de transfert de spin. Grâce au principe physique de ce dernier, la détection, n'est plus limitée par la précision de la mesure de la résistance. En effet, les changements de résistance entre deux valeurs haut et bas de la jonction sont mesurés à l'aide d'une tension périodique sinusoïdale ou triangulaire appliquée. La tension à laquelle la jonction change d'état varie donc linéairement avec le champ appliqué.

Deux modes de détection du champ magnétique sont possibles : une conversion de temps pour trouver les tensions de commutation ou une modulation d'un signal par les transitions de résistance. Le mode de modulation a permis d'obtenir un bruit plus faible et une meilleure résolution de la

mesure, grâce à une électronique de détection plus performante. Les principaux avantages du capteur proposé sont sa petite taille, donc une faible consommation d'énergie et un encombrement réduit de l'électronique de conditionnement. La plage de détection peut être plus large que celle des autres capteurs magnétiques, car la détectivité n'est plus limitée par la portée du champ. De plus, ce capteur est insensible aux champs intenses qui causent des dommages irréversibles aux capteurs magnéto-résistifs. La conception de ce capteur est similaire aux cellules de mémoire magnétique à jonction tunnel STT MRAM dont la technologie est déjà mature, ce qui permet l'intégration du capteur dans les circuits CMOS. Ainsi sa production en masse peut être réalisée dans les fonderies de MRAM avec peu de changement.

Les performances du capteur n'atteignent pas encore le niveau des capteurs magnétiques commercialisés. Mais des améliorations simples de l'élément de détection ou de l'électronique de conditionnement sont en cours pour réduire encore le niveau de bruit. Ce type de capteur pourrait trouver des applications dans divers domaines, depuis les applications industrielles jusqu'au domaine médical, intégré dans une puce, ou en réseau de détecteurs pour réaliser des images 2D.



Collaboration

University of Applied Sciences Northwestern, Suisse, et ICube (Université de Strasbourg)

RÉFÉRENCE

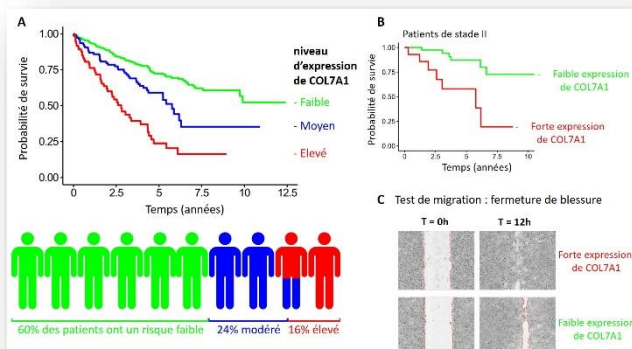
Nicolas H. Sousa R. Mora-Hernández A. Prejbeanu I.-L. Hebrard L. Kammerer J.-B and Pascal J
Conditioning circuits for nanoscale perpendicular spin transfer torque magnetic tunnel junctions as magnetic sensors.
IEEE Sensors Journal 2023

Image par microscopie électronique d'une jonction tunnel magnétique de diamètre 50nm

Repérer les cancers du rein à risque grâce à la génétique

Les chercheurs de l'Irig ont montré le potentiel pronostique de l'expression du collagène de type VII à partir des données issues d'échantillons de tumeur du rein à cellules claires, qui est le septième type de cancer le plus répandu dans le monde occidental. Alors pour identifier de nouveaux biomarqueurs de prédiction de la survie des patients les chercheurs interrogent le potentiel pronostique de chaque gène. Les résultats ont révélé une expression accrue pour certains patients du gène *COL7A1*, codant pour une forme de collagène spécifique : cette expression est corrélée à l'avancée de ce cancer et donc au risque de décès (Figure A). De plus, parmi les patients de même stade, comme le stade 2 (en général de bon pronostic), cette forte expression permet également de repérer les patients à risque (Figure B). Cette nouvelle méthode est complémentaire et plus précise que le stade utilisé aujourd'hui en clinique. Le biomarqueur *COL7A1* étant robuste, il peut être appliqué à des patients atteints de différents stades de cancer, d'origines génétiques/ethniques différentes, ou ayant été soumis à différentes thérapies.

Les chercheurs ont réalisé des expériences préliminaires sur des cellules de cancer du rein en culture. Ils en ont déduit l'hypothèse que le gène *COL7A1* joue un rôle dans la migration des cellules cancéreuses, étape clé dans l'apparition de métastase chez les patients (Figure C). Par ailleurs, la présence de *COL7A1* est aussi corrélée à une forte expression de gènes impliqués dans des mécanismes moléculaires importants de la cancérogénèse : la division cellulaire, la réponse inflammatoire et la transition épithéliale-mésenchymateuse.



RÉFÉRENCES

Koca D, Séraudie I, Jardillier R, Cochet C, Filhol O and Guyon L
COL7A1 expression improves prognosis prediction for patients with clear cell renal cell carcinoma atop of stage.
Cancers 2023

Jardillier R, Koca D, Chatelain F and Guyon L
Prognosis of lasso-like penalized Cox models with tumor profiling improves prediction over clinical data alone and benefits from bi-dimensional pre-screening.
BMC Cancer 2022

En conclusion, les chercheurs de l'Irig ont développé une méthode permettant d'identifier les patients atteints de cancer du rein à risque, dans le but d'améliorer leur prise en charge. Pour améliorer encore les prédictions, les chercheurs de l'Irig utilisent actuellement des méthodes d'intelligence artificielle (IA) en utilisant l'expression de plusieurs gènes. A plus long terme, si le rôle de *COL7A1* dans la migration/invasion des cellules cancéreuses est confirmé, il pourrait être une cible thérapeutique afin de réduire l'apparition de métastases.

Figure A. Probabilité de survie des patients atteints de cancer du rein en fonction du temps après chirurgie. En vert, les 60% de patients avec une expression faible de *COL7A1* dans la tumeur – ces patients ont la meilleure chance de survie (supérieure à 10 ans pour plus de la moitié des patients). En bleu, 24% de patients avec une expression moyenne de *COL7A1* qui ont une chance de survie intermédiaire (supérieure à 5 ans pour la moitié des patients). En rouge, 16% des patients avec une expression forte de *COL7A1* qui ont une chance de survie réduite (inférieure à 2,5 ans pour la moitié des patients).

Figure B. Identique à la Figure A, mais restreint aux patients de stade 2 (stade peu avancé). L'ensemble de ces patients ne sont pas considérés « à risque » avec les méthodes actuelles. La mesure de l'expression de *COL7A1* permet d'identifier les 15 patients (sur 57) les plus à risque.

Figure C. Expérience de migration in vitro de cellules. Après avoir enlevé les cellules au centre de la boîte de pétri (zone verticale claire ou blessure, c'est-à-dire dépourvue de cellule, au temps $T = 0h$), les cellules qui expriment un niveau élevé de *COL7A1* (en haut) migrent plus vite : en 12h elles ont « comblé » la blessure, ce qui n'est pas le cas des cellules avec une faible expression de *COL7A1*.

Contact : Laurent GUYON
Biosanté
Biologie et Biotechnologies pour la Santé

La dérégulation de l'autophagie modifie la progression tumorale

L'expression des gènes est le processus par lequel l'information génétique est traduite en macromolécules fonctionnelles. La transcription est la première étape de ce processus, qui consiste à synthétiser des ARN messagers (ARNm) à partir de la matrice d'ADN du gène correspondant. Au cours des dernières décennies, les approches de profilage transcriptionnel à l'échelle du génome entier ont permis d'évaluer les niveaux d'expression de milliers de gènes en parallèle dans divers contextes biologiques. Dans les analyses statistiques, l'expression d'un gène est estimée en comptant le nombre d'occurrence des séquences de l'ARNm correspondant sur un ensemble d'échantillons et est définie par deux dimensions : la moyenne et la variance.

Contact : Xavier GIDROL
BGE
Biosciences et bioingénierie pour la Santé

L'écrasante majorité des analyses transcriptomiques basée sur l'étude des profils d'expression se concentre sur l'identification des gènes dont l'expression moyenne change de manière significative lorsque l'on compare des échantillons de différentes conditions, correspondant à des processus biologiques d'intérêt, tels que la biologie du développement, l'étiologie des maladies, la découverte de cibles thérapeutiques, etc. Dans cette approche classique, la variance n'est généralement considérée que comme un paramètre de bruit à estimer avant de comparer les moyennes d'expression. Et pourtant, l'estimation de la variance de l'expression peut être pertinente d'un point de vue physiologique, puisqu'une modification de ce paramètre peut refléter un changement biologique de la régulation de l'expression des gènes. Les fluctuations de l'expression des gènes peuvent en effet être dues à diverses sources intrinsèques à la vie cellulaire, comme par exemple la nature stochastique de la transcription des gènes, le cycle cellulaire, les modifications de la chromatine ou la dégradation des ARNm.

Les chercheurs de l'Irig proposent de comparer les performances des méthodes statistiques qui identifient de tels gènes différemment variants. Ils ont mis en évidence le potentiel de cette approche en analysant des ensembles de données d'expression sur divers cancers, ce qui a permis d'identifier des fonctions cellulaires clés dans la progression tumorale, qui n'auraient pas pu être identifiées par comparaison de la moyenne d'expression.

Les chercheurs ont évalué quatre méthodes récentes qui détectent les différences dans la moyenne et dans la dispersion des données de séquençage ARN. En appliquant ces méthodes sur des données simulées, cela permet de caractériser de manière fiable les paramètres pour détecter les gènes présentant une variance d'expression entre deux conditions. Les données de l'Atlas du génome du cancer ont ensuite été soumises à ces méthodes. Parmi les gènes présentant une variance d'expression accrue dans les tumeurs et sans changement dans l'expression moyenne, certaines fonctions cellulaires clés ont été identifiées, dont la majorité sont liées au catabolisme et sont surreprésentées dans la plupart des cancers analysés.

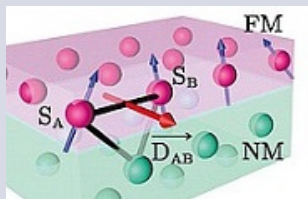
Il peut être biologiquement et physiologiquement pertinent de considérer une différence de variance dans l'expression des gènes. Ces résultats mettent en évidence l'autophagie dans la cancérogenèse, illustrant ainsi le potentiel de l'approche de variance différentielle pour acquérir de nouvelles connaissances sur les processus biologiques et pour découvrir de nouveaux biomarqueurs.

RÉFÉRENCE

Le Priol C, Azencott C-A and Gidrol X

Detection of genes with differential expression dispersion unravels the role of autophagy in cancer progression
PLOS Computational Biology 2023

Autres actualités scientifiques de l'Irig



Review: from early theories of Dzyaloshinskii-Moriya interactions in metallic systems to today's novel roads.

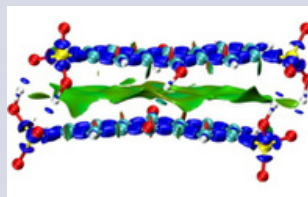
Revue : du début des théories sur les interactions DMI dans les systèmes métalliques, jusqu' aux nouvelles voies actuelles.

[En anglais](#)



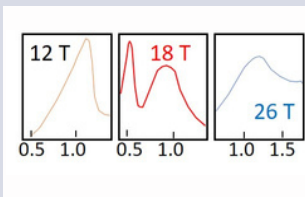
À la recherche en dehors du noyau des cellules des dommages de l'ADN induits par le soleil.

[EN SAVOIR PLUS](#)



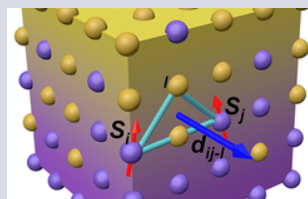
RMN : tout savoir sur l'électrolyte organique d'une batterie à flux redox.

[EN SAVOIR PLUS](#)



Accorder le mécanisme d'appariement d'un supraconducteur.

[EN SAVOIR PLUS](#)



Gradient-Induced Dzyaloshinskii-Moriya Interaction.

Gradient induit par Interaction Dzyaloshinskii-Moriya.

[En anglais](#)



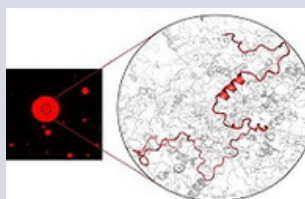
Le Groupe « Entrée et bourgeonnement des virus à enveloppe » vient d'être labellisé Équipe FRM 2023.

[EN SAVOIR PLUS](#)



Nouveau contrat pour les glaçons ITER-DMS.

[EN SAVOIR PLUS](#)



Les propriétés dynamiques des protéines intrinsèquement désordonnées impactées par la séparation de phase liquide-liquide.

[EN SAVOIR PLUS](#)



La photophysique des fluorophores et la microscopie à super-résolution mariés dans le simulateur SMIS.

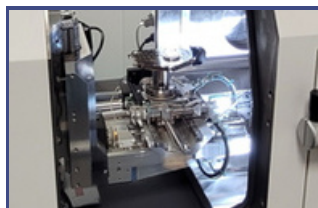
[EN SAVOIR PLUS](#)

Communiqués de presse – Prix – Autres



Flora Clément – Lauréate du Prix Chercheur Junior de l'association Espoir Isère contre le cancer.

[EN SAVOIR PLUS](#)



Inauguration d'un PFIB-SEM de dernière génération

[EN SAVOIR PLUS](#)



Environnement : la neige rouge de plus en plus présente sur les glaciers du monde

[EN SAVOIR PLUS](#)



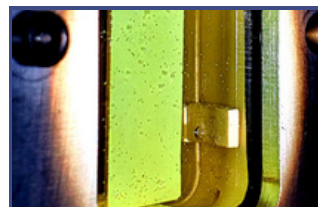
Sara Pullara – Prix Dominique Job du jeune scientifique

[EN SAVOIR PLUS](#)



Le Professeur Walid Rachidi reçoit une dotation de près de 60 000 € de l'association « Jetons cancer »

[EN SAVOIR PLUS](#)



ENGIE R&I et le CEA lancent la chaire industrielle « PROSPER-H2 » dans le domaine des carburants solaires

[EN SAVOIR PLUS](#)

Biosciences et bioingénierie pour la Santé

Unité Inserm13
CEA-Inserm-UGA
BGE-lab.fr

Biologie et Biotechnologie pour la Santé

UMR_S 1292
CEA-Inserm-UGA
biosante-lab.fr

Chimie et Biologie des Métaux

UMR 5249
CEA-CNRS-UGA
CBM-lab.fr

Institut de Biologie Structurale

UMR 5075
CEA/CNRS/UGA
IBS.fr

Modélisation et Exploration des Matériaux

UMR
CEA/UGA
MEM-lab.fr

Photonique Électronique et Ingénierie Quantiques

UMR
CEA-UGA
pheliqs.fr

Physiologie Cellulaire & Végétale

UMR CEA-CNRS-UGA-Inrae
LPCV.fr

Département des Systèmes Basses Températures

UMR
CEA-UGA
d-SBT.fr

Spintronique et Technologie des Composants

UMR 8191 CEA-CNRS-UGA-G-INP
Spintec.fr

Systèmes Moléculaires et nanoMatériaux pour l'Énergie et la Santé

UMR 5819
CEA-CNRS-UGA
Symmes.fr

irig.cea.fr

Institut de recherche interdisciplinaire de Grenoble

CEA-Grenoble
17 avenue des Martyrs
38054 Grenoble cedex 9

Responsables :

Pascale Bayle-Guillemaud
et Annie Andrieux

Directrice de la publication
Pascale Bayle-Guillemaud

Éditeur et format électronique
Alain Farchi

Comité de rédaction

Cécile Breyton, Claude Chapelier, Odile Filhol-Cochet, Xavier Gidrol, Laurent Guyon, Isabelle Michaud-Soret, Dimitris Petroutsos, Thomas Prouvé, Peter Reiss, Marie-Ingrid Richard, Ricardo Sousa, Alain Farchi.



Inserm

UGA
Université
Grenoble Alpes

INRAE