

Un pas de plus vers une densité ultra-haute de stockage magnétique

La réalisation de cristaux bidimensionnels de nanoparticules magnétiques de quelques nanomètres de période est une sorte de Graal qui pourrait ouvrir la voie à un stockage de quantité d'information encore accrue sur des surfaces toujours plus petites. Les chercheurs du laboratoire Modélisation et Exploration des Métaux (MEM) de l'institut Irig et ceux de l'ESRF de Grenoble (ligne BM32) ont développé au fil des années tous les ingrédients et les techniques de caractérisation permettant d'aller dans cette direction.

La croissance d'une monocouche de graphène sur des monocristaux d'iridium leur a permis de synthétiser un réseau à deux dimensions de **2,5 nm de période**. Le développement de techniques de diffusion aux petits angles et de diffraction des rayons X (Figure 1) sensibles à des quantités de matière nanométrique a permis à ces chercheurs de caractériser l'organisation, la taille, la forme et la structure à l'échelle des atomes, de ces réseaux et nanoparticules.



Figure 1. Diffusion des rayons X aux petits angles en incidence rasante donnant sur un détecteur bidimensionnel la transformée de Fourier (le long d'une direction spécifique) d'une assemblée de nanoparticules (NP) sur un substrat.

Les chercheurs du MEM ont **collaboré** avec des chercheurs de l'Institut Lumière Matière de Lyon capables de réaliser des nanoparticules de fer-platine qui, moyennant un recuit, s'organisent chimiquement à l'échelle atomique et acquièrent une aimantation. Ils ont alors montré que non seulement ces particules s'organisent sur le réseau de **moiré** du graphène sur iridium (Figure 2), mais qu'elles gardent leur aimantation

(liée à leur ordre chimique) et leur supra-organisation jusqu'à des températures élevées, réalisant un pas de plus vers une possible ultra-haute densité de stockage magnétique.

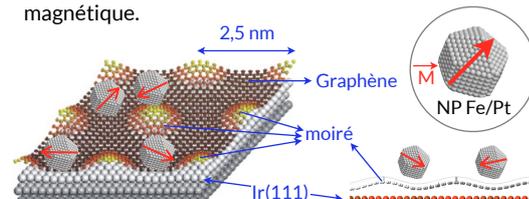


Figure 2. Représentation « atomique » d'un moiré entre une monocouche de graphène et un substrat d'iridium. Il y a un réseau de coïncidence de sites atomiques tous les 10 mailles d'Ir et tous les 11 mailles de graphène, générant un réseau 2D de site d'adsorption périodique. Cercle = nanoparticule aimantée.

Période de 2,5 nm obtenue grâce à l'effet de moiré (ou d'interférence) entre deux réseaux de paramètres différents. **Équipe** spécialisée dans l'élaboration et le dépôt « doux » de nanoparticules pré-formées de tailles très bien définies (1 ou 2 nm) et dans leur dépôt « doux » (ou lent) sur des surfaces. **Moiré** : superposition de deux réseaux cristallins présentant des périodes différentes.

REFERENCE

Capiod P, Bardotti L, Tamion A, Boisron O, Albin C, Dupuis V, Renaud G, Ohresser P and Tournon F. Elaboration of nanomagnet arrays: Organization and magnetic properties of mass-selected FePt nanoparticles deposited on epitaxially grown graphene on Ir(111). *Physical Review Letters*, 2019

Contact : [Gilles Renaud](#)
MEM
Laboratoire Modélisation et
Exploration des Matériaux
UMR CEA - UGA

Dans l'intimité du virus de la rougeole

Le virus de la rougeole est un pathogène humain extrêmement contagieux qui connaît actuellement une recrudescence dans de nombreux pays dont la France. Le génome de l'ARN de ce virus est empaqueté (encapsidé) dans des supra-structures moléculaires hélicoïdales, les nucléocapsides, constituées de milliers de nucléoprotéines qui se lient au génome entier du virus. Pour se propager dans une cellule, ce virus fait appel à une polymérase à ARN virale. Comment cette polymérase accède-t-elle au matériel génétique alors que celui-ci est protégé par une capsid ?

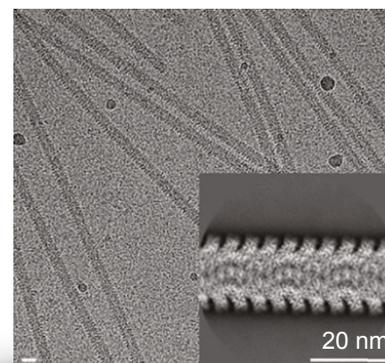
C'est à cette tâche que les chercheurs de l'IBS se sont attelés. Lors d'une précédente étude [1], ils avaient développé des méthodes expérimentales permettant d'encapsider *in vitro* une séquence d'ARN donnée. Ils avaient ainsi démontré que l'auto-organisation *in vitro* des nucléoprotéines du virus de la rougeole en nucléocapsides était rendue possible par l'addition d'ARN. Ils fournissaient ainsi un outil simple et polyvalent pour étudier l'assemblage des nucléocapsides en montrant qu'il dépendait fortement de la séquence d'ARN.

Dans cette nouvelle étude [2], ils ont été en mesure de déterminer par cryo-microscopie électronique la structure tridimensionnelle à haute résolution (3,3 Å) de ces nucléocapsides. Ces structures révèlent les positions et la nature des interactions fines entre l'ARN et la nucléoprotéine. L'identification des acides aminés qui sont impliqués directement dans l'encapsidation permet de mieux comprendre comment la polymérase à ARN du virus va pouvoir répliquer le matériel génétique du virus.

Ces nouvelles données pourraient à terme permettre de développer de nouvelles stratégies thérapeutiques.

RÉFÉRENCES

- [1] Milles *et al.* *Angewandte Chemie (Int Ed)*, 2016
- [2] Desfosses A, Milles S, Jensen MR, Guseva S, Colletier JP, Maurin D, Schoehn G, Gutsche I, Ruigrok RWH and Blackledge M. Assembly and cryo-EM structures of RNA-specific measles virus nucleocapsids provide mechanistic insight into paramyxoviral replication. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 2019



Micrographie obtenue par cryo-microscopie électronique sur des nucléocapsides. Une moyenne de ces nucléocapsides obtenue par analyse d'image est également représentée en bas à gauche

Contact : [Martin Blackledge](#)
IBS
Institut de Biologie Structurale
UMR 5075 - CEA - CNRS - UGA

Au cœur d'une symbiose intracellulaire

La symbiose entre deux organismes vivants nécessite une coévolution des deux partenaires associés dans un bénéfice mutuel qui se traduit par des changements durables et importants de leur génome. La symbiose intracellulaire est une forme particulière de symbiose dans laquelle un organisme vivant, par exemple une bactérie, vit et se multiplie à l'intérieur des cellules de son hôte. Ce type de symbiose est très répandu parmi les invertébrés et constitue chez les insectes un facteur majeur d'adaptation à leur environnement et à leur régime alimentaire parfois pauvre en certains nutriments. Cependant, l'ajustement du nombre d'endosymbiotes à un niveau bénéfique et le maintien de l'homéostasie immunitaire dans un organisme infecté de façon chronique par des bactéries mutualistes représentent un défi majeur pour l'hôte.

Contact : [Marie-Odile Fauvarque BGE](#)

Laboratoire Biologie à Grande Échelle
UMR 1038 - CEA - Inserm - UGA

En effet, lorsqu'un organisme est infecté par une bactérie pathogène, ses récepteurs de reconnaissance du **peptidoglycane** ou des **lipopolysaccharides** bactériens induisent une réponse inflammatoire immédiate pour détruire les envahisseurs. Cette réponse peut s'avérer dommageable pour l'organisme sur le long terme (ce qui est également vrai chez l'Homme). Dans le cas d'une endosymbiose où un organisme est infecté de façon chronique par des bactéries mutualistes, quels sont les mécanismes qui permettent à la bactérie d'être tolérée ? Des chercheurs du laboratoire Biologie à Grande Échelle de l'institut Irig, spécialistes de la réponse immunitaire chez la mouche drosophile, ont participé à une étude de l'Inra et de l'Insa (Lyon) visant à comprendre le rôle d'une protéine de reconnaissance du peptidoglycane (PGRP-LB) conservée chez les insectes, dans l'association entre le charançon des céréales (*Sitophilus zeamais*) et son endosymbiote bactérien (*Sodalis pierantonius*). Ces travaux montrent que le gène codant le récepteur PGRP-LB peut exprimer de façon différentielle trois isoformes différentes de la protéine. Une isoforme est sécrétée et exprimée dans les tissus de l'insecte uniquement dans des conditions d'infection par des bactéries pathogènes tandis que deux autres isoformes (cytosolique et transmembranaire) sont produites de manière permanente au sein de l'organe qui héberge l'endosymbiote : le bactériome. Dans ce bactériome, les isoformes de PGRP-LB détruisent les peptidoglycans libérés par les endosymbiotes ce qui permet d'empêcher une activation chronique de la réponse immunitaire et d'autoriser la survie des endosymbiotes tout en préservant la santé de l'insecte.



Charançon des céréales (*Sitophilus zeamais*)
On appelle charançon un ensemble d'insectes coléoptères ravageurs s'attaquant essentiellement aux céréales. Certaines variétés s'en prennent également aux pois, noisettes, bananes, palmiers etc. C'est grâce à son bactériome qu'il peut survivre en dépit d'un régime alimentaire pauvre.

Le **peptidoglycane** est un composant de la paroi bactérienne maintenant la forme des cellules et assurant une protection mécanique contre la pression osmotique.
Les **lipopolysaccharides** sont des molécules qui se trouvent dans la membrane externe des bactéries à Gram négatif.

RÉFÉRENCE

Maire J, Vincent-Monégat C, Balmand S, Vallier A, Hervé M, Masson F, Parisot N, Vigneron A, Anselme C, Perrin J, Orlans J, Rahioui I, Da Silva P, Fauvarque MO, Mengin-Lecreux D, Zaidman-Rémy A and Heddi A. Weevil *pgrp-lb* prevents endosymbiont TCT dissemination and chronic host systemic immune activation. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 2019

La bataille de la cohérence quantique

L'ordinateur quantique est la rencontre de deux univers très différents. D'un côté celui des physiciens qui depuis une vingtaine d'années parviennent à contrôler des états quantiques de plus en plus complexes ; c'est la seconde révolution quantique. De l'autre les chercheurs de l'informatique théorique imaginent un nouveau type de calcul qui exploiterait la mécanique quantique pour obtenir des performances inimaginables avec les ordinateurs existants. Aujourd'hui, un effort important est déployé pour essayer de faire se rencontrer ces deux univers.

Le **bit quantique** qui généralise le 0 et le 1 de nos ordinateurs est un objet continu : il est décrit par une petite aiguille qui peut pointer continuellement entre le 0 et le 1. La puissance supposée de l'ordinateur quantique provient d'un phénomène appelé **intrication** : si une seule aiguille est suffisante pour décrire un bit quantique, il en faut en revanche un nombre exponentiel 2^N pour décrire l'état d'une machine à N bits quantiques. Ainsi, l'état d'une machine à seulement 30 bits quantique est décrit par plus d'un milliard de petites aiguilles. Cette prolifération de degrés de liberté permettrait d'effectuer des calculs massivement en parallèle.



Mais l'intrication est aussi le cauchemar de l'ordinateur quantique car il faut parvenir à contrôler avec précision toutes ces petites aiguilles tout en évitant qu'elles ne soient perturbées par les autres degrés de liberté présents autour d'elles (vibration des atomes, fluctuations du champ électromagnétique...).

Pour tenter de contrôler ce problème de précision, les chercheurs de l'informatique théorique ont imaginé des **"codes de correction d'erreurs quantique"** où on utilise de nombreux bits quantiques pour former un unique méta-bit quantique.

Dans un travail récent, Xavier Waintal, chercheur au laboratoire Photonique Electronique et Ingénierie Quantiques de l'Irig a examiné ces codes du point de vue d'un physicien. Ses conclusions sont assez pessimistes : il manque aujourd'hui de très nombreux ordres de grandeurs à nos technologies quantiques pour que cette voie soit envisageable. D'autres voies, comme la simulation quantique, seraient beaucoup plus tolérantes au problème de la décohérence.

RÉFÉRENCE

Waintal X. What determines the ultimate precision of a quantum computer? *Physical Review A*, 2019

En informatique quantique, un **bit quantique** ou qubit est l'état quantique qui représente la plus petite unité de stockage d'information quantique. Une mémoire à qubits diffère significativement d'une mémoire classique par le fait qu'un bit ne peut prendre que les valeurs 0 et 1, et une seule à la fois. Un qubit n'a pas cette restriction.

En mécanique quantique, l'**intrication quantique** est un phénomène dans lequel deux particules forment un système lié et présentent des états quantiques dépendant l'un de l'autre quelle que soit la distance qui les sépare.

Un code de **correction d'erreur quantique** (QEC) utilise Nc bits quantiques pour construire un bit quantique "logique" de meilleure qualité que le bit "physiques" initial.

Contact : [Xavier Waintal Phelios](#)

Laboratoire Photonique Electronique et
Ingénierie Quantiques
UMR - CEA - UGA



Air Liquide en visite

L'hélium 4, essentiellement issu des gisements de gaz naturel, et l'hélium 3, produit par la désintégration radioactive du tritium, sont deux gaz couramment utilisés au Département des Systèmes Basses Températures (D-SBT) de l'Irig pour obtenir des très basses températures, l'hélium 3 étant le dernier gaz à se liquéfier aux environs de - 270°C. Au-delà du D-SBT, l'hélium 4 liquide est utilisé par une multitude de laboratoires sur le polygone scientifique ainsi que par les hôpitaux (RMN). Le D-SBT est ainsi en capacité de produire 200 000 litres d'hélium liquide par an, qui associées aux capacités des liquéfacteurs de l'Institut Néel, permettent d'assurer cette fourniture. L'hélium est une ressource rare qui doit être préservée et la plupart des installations expérimentales sur le polygone sont connectées à un réseau de récupération : l'hélium gaz issu de l'évaporation du liquide est alors comprimé et stocké sous pression avant d'être à nouveau liquéfié.

À l'occasion de la visite de la division « Gaz rares et hélium » de la société Air Liquide le 16 avril 2019, (photographie), les différents responsables des laboratoires du D-SBT ont eu la possibilité de mettre l'accent sur la liquéfaction de l'hélium et sur la grande variété de ses applications en science et plus particulièrement au D-SBT. Les technologies développées ont ainsi été exposées. Les visiteurs ont été enchantés d'enrichir leurs connaissances sur l'utilisation de l'hélium (3 ou 4) dans les cryoréfrigérateurs, de découvrir en quoi la cryogénie est

nécessaire dans l'espace et comment le froid est produit grâce aux technologies développées au D-SBT, comme les tubes à gaz pulsés, les refroidisseurs à adsorption ainsi que la réfrigération par désaimantation adiabatique.

La délégation s'est vue présenter l'utilisation de l'hélium superfluide à 1,8 K pour l'étude des turbulences générées par les turbines de l'expérience Von Karman SHREK (*Superfluid Helium high REynolds number von Kármán flow*) installée dans le cryostat multi test de la station 400W@1,8K. Dans ce même cryostat polyvalent, l'expérience HELIOS (*Helium Loop for high Loads Smoothing*) relative au réacteur de fusion ITER leur a également été expliquée.

Cette visite était l'occasion de renforcer le partenariat entre Air Liquide et le D-SBT dans le cadre de projets dans le spatial et la grande réfrigération. Depuis octobre 2018, ces deux partenaires collaborent en effet sur des développements technologiques dans le cadre du Laboratoire Commun entre Air Liquide Advanced Technologies et le CEA.



Les directeurs de l'approvisionnement en hélium et directeurs industriels de la division Gaz rares et hélium d'Air Liquide, les coordinateurs logistiques, les responsables de la chaîne logistique et les techniciens de maintenance venant de France, des Émirats Arabes Unis, de Chine, des États-Unis et du Pays-Bas lors de la visite du 16 avril 2019, devant le cryostat multi test (CMT) et les liquéfacteurs d'hélium du D-SBT. ©2019 IRIG/D-SBT

Contact : [Christine Hoa](mailto:Christine.Hoa@cea.fr)
D-SBT

Département Systèmes Basses
Températures
UMR CEA - UGA

HELIOS est une boucle d'hélium supercritique développée pour étudier le lissage des charges thermiques variables reçues par les systèmes cryogéniques des futurs réacteurs de fusion japonais et ITER. HELIOS permet actuellement la caractérisation du couplage thermique d'échantillons des aimants supraconducteurs d'ITER refroidis par convection forcée d'hélium supercritique à 4,4 K et sous une pression de 5 bar.

Les laboratoires

Biologie du Cancer
et de l'Infection
UMR_S 1036
CEA/Inserm/UGA
www.BCI-lab.fr

Biologie à Grande
Échelle
UMR_S 1038
CEA/Inserm/UGA
www.BGE-lab.fr

Chimie et Biologie
des Métaux
UMR 5249
CEA/CNRS/UGA
www.CBM-lab.fr

Institut de Biologie
Structurale
UMR 5075
CEA/CNRS/UGA
www.IBS.fr

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

Photonique Electronique
et Ingénierie Quantiques
UMR CEA/UGA
www.Pheligs.fr

Physiologie Cellulaire
& Végétale
UMR 5168
CEA/CNRS/UGA/Inra
www.LPCV.fr

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

Spintronique et Technologie
des Composants
UMR 8191
CEA/CNRS/UGA/G-INP
www.Spintec.fr

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

Directeur
de la publication
[Jérôme Garin](mailto:Jerome.Garin@cea.fr)

Éditeur et format électronique
[Pascal Martinez](mailto:Pascal.Martinez@cea.fr)
Pascal.Martinez@cea.fr

Comité de rédaction
[Martin Blackledge](#), [Marie-Odile Fauvarque](#), [Christine Hoa](#), [Gilles Renaud](#), [Xavier Waintal](#)

irig.cea.fr

Institut de recherche interdisciplinaire de Grenoble
CEA-Grenoble
17 avenue des Martyrs | 38054 Grenoble cedex 9

www.cea.fr/drf/irig/actu/lettres
Responsables : Jérôme Garin et
Pascale Bayle-Guillemaud