



Science des **Matériaux**

Newsletter iMAT #6

La revue de l'institut de science des matériaux - Hiver 2024

Editeur : Institut de Science des Matériaux

Contact : emmanuel.sautjeau@sorbonne-universite.fr

Site : <https://materiaux.sorbonne-universite.fr/>

LinkedIn : <https://www.linkedin.com/company/materiaux-sorbonne-universite>

Science des Matériaux

Newsletter iMAT #6

La revue de l'institut de science des matériaux - Décembre 2023



La vie de l'institut de Science des Matériaux

Les appels à projets
Les actualités d'iMAT

Point sur l'Appel à Projets doctorants 2024

13 projets déposés, coportés par 12 laboratoires. Le jury se tiendra le 11 mars 2024.

Dépôt des projets de recherche du 4 décembre au 9 février

La campagne 2024 d'Appel à Projets des contrats doctoraux iMAT s'est ouverte le 4 décembre, elle a pris fin le 9 février 2024. **3 contrats doctoraux seront attribués.**

Les axes thématiques iMAT de soutien à la recherche ont évolué !

Suite aux discussions de juillet lors de la Journée scientifique iMAT, suivies d'une journée de travail et de consultation du Comité Stratégique, les 4 axes thématiques ont été rassemblés en 2 axes proposés simultanément pour l'AAP 2024 :

- **Matériaux innovants pour une société durable** : par exemple dans les domaines de l'énergie, l'environnement, la santé... (innovative materials for sustainable society : e.g., energy, environment and health).
- **Défis fondamentaux en science des matériaux** : recherche fondamentale pour développer et affiner nos connaissances (fundamental challenges in material sciences : research for creating knowledge).

L'appel à projet 2024, comme les AAP à venir, concerne ces deux thématiques simultanément. Les projets sont coportés par au moins 2 laboratoires de l'Alliance SU.

Le calendrier prévisionnel

- 4 déc 2023 au 9 fev 2024 : dépôts des projets de recherche
- 18 mars 2024 : annonce des projets lauréats 2024
- du 18 mars au 22 avril 2024 : appel à candidature des futur-e-s doctorant-e-s
- du 29 avril au 31 mai 2024 : auditions des candidat-e-s

Les projets lauréats de l'Appel à Projets Postdoctorants 2023

- **Operando Photoemission for Electrochemistry of Nanoparticles During ORR**
J.J. Gallet (LCPMR), C. Petit (MONARIS), E. Maisonhaute (LISE)
- **Unconventional superconductivity in two-dimensional surface alloys with high spin-orbit interaction.**
S. Vlaic (LPEM-ESPCI), T. Cren (INSP)
- **Probing organisation and scaffold flexibility of hydrogels: a combined NMR and NMRD approach**
A.L. Rollet (PHENIX), N. Malikova (PHENIX), F. Ribot (LCMCP)

École d'été

MATÉRIAUX, DURABILITÉ, CRISE

2nd édition

Les conférences sont
 disponibles sur la
 chaîne YouTube iMAT

La science des matériaux face au défi de la transition environnementale

Suite à la réussite de la première édition organisée à Cotonou, Bénin, par Sèmè City et face aux défis qui s'imposent, iMAT et l'Agence de développement Sèmè City ont organisé du 26 au 30 juin 2023 la seconde édition de cette école d'été internationale.

L'école est destinée aux étudiants et aux personnels de l'Alliance Sorbonne Université pour informer et débattre des enjeux et des crises actuels et des réponses que la science des matériaux peut apporter.

Programme de la semaine

Cette seconde édition a été organisée comme une expérience participative avec l'ambition de favoriser les échanges, la réflexion et le débat. Chaque journée était consacrée à une thématique particulière et proposaient une exploration plurielle :

- Lundi 26 juin - Crises et transitions - Journée d'ouverture
- Mardi 27 juin - Matériaux industriels et alternatifs, décarbonation
- Mercredi 28 juin - Recyclage et ressources
- Jeudi 29 juin - Minéraux, Energie durable
- Vendredi 30 juin - Restitution, discussions et clôture

12 doctorants
 en formation
 pour

180 heures
 validées

46
 participants
 SU

19
 participants
 UTC

40 participants
 continent
 africain

21
 conférences

CHIFFRES
 CLÉS

6 ED
 partenaires

Partenariat international

Cette école a été organisée en partenariat avec l'[Agence de développement de Sèmè City](#) (Bénin).

Collaborations

Le programme et les ateliers ont été montés en collaboration étroite avec :

- l'institut de Transition Environnementale
- L'initiative Maîtrise des Systèmes Technologiques Sûrs et Durables
- L'Institut de Recherche pour le Développement

MATÉRIAUX DURABILITÉ CRISE

du 26 JUIN
au 30 JUIN
2023

Conférences
Ateliers
Débats



En collaboration avec les ED 71, 388, 391, 397, 398, 564

École d'été

Entrée TOUR 44
Salle 109 - 1er étage - Couloir 44-54
Centre International de Conférences
de Sorbonne Université
4 place Jussieu, 75005 Paris



Les principales actions et soutiens iMAT 2023

Soutiens aux évènements

- 14^e conférence internationale *Advanced polymers via macromolecular engineering* (Paris)
- Mini colloque au congrès de la SFP - Cité des sciences (Paris)
- Ecole thématique : Mecareact (Paris)
- E-Stock 2023 (Amiens)
- Colloque du Réseau Francophone de Magnéto-métrie (Paris)
- Symposium Matériaux fonctionnels, biologiques et bioinspirés (Paris)
- PISACMS (Paris)

École Rayonnement synchrotron pour l'étude des matériaux - SOLEIL@SU

Cette deuxième école Rayonnement Synchrotron pour l'Étude des Matériaux a été organisée avec le soutien du synchrotron SOLEIL et de l'Institut de Science des Matériaux.

Cette école de quatre jours a accueilli 25 étudiants de licence L3 et de master qui ont pu suivre une initiation pédagogique, illustrée par de nombreux exemples, dans les différents domaines des sciences des matériaux.

Organisatrices : Amélie Juhin (IMPMC), Marie D'angelo (INSP)

Fête de la science - Deux animations

Speed Meeting : 135 élèves de terminales scientifiques à la rencontre de leur avenir

iMAT s'est associé pour la 3^e année consécutive à l'Observatoire des Patrimoines (OPUS) de Sorbonne Université et au Quantum Information Center Sorbonne (QICS) pour l'organisation de rencontres entre des classes de terminale scientifique et les doctorants de nos instituts.

L'art de geler la lumière, l'exposition !

Exposition sur la collection des plaques photographiques interférentielles de Gabriel Lipmann les 14 et 15 octobre 2023 sur le Village des sciences du Campus Pierre et Marie Curie.

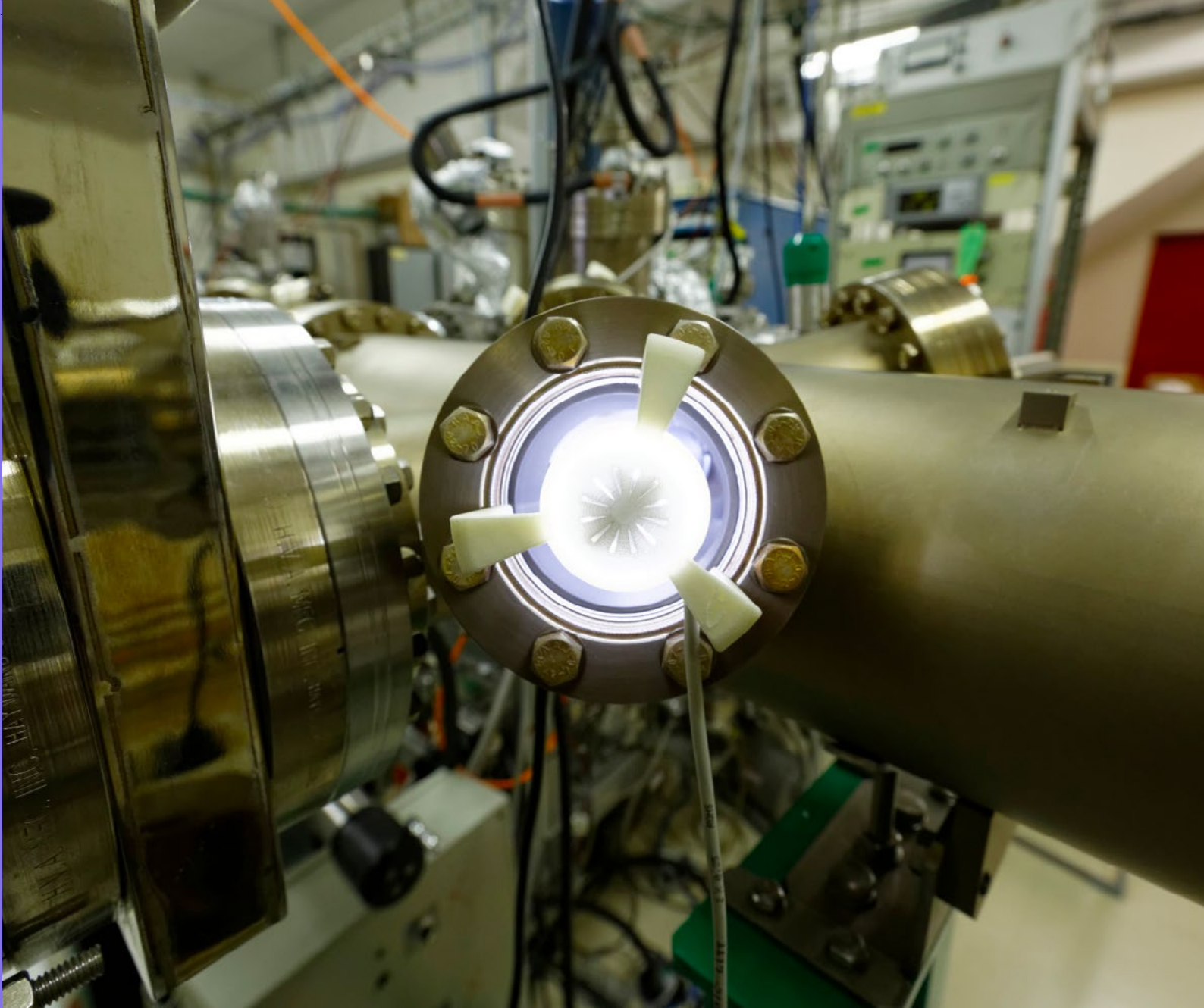
La journée scientifique iMAT suivie de la rencontre avec le comité stratégique international (10 et 11 juillet 2023)

L'institut a organisé le 10 juillet dernier une journée consacrée à la recherche et aux actions menées depuis sa création : l'occasion de réunir la communauté de science des matériaux ASU et de travailler avec les membres du comité stratégique international. Le 11 juillet, le comité stratégique s'est entretenu avec le comité de direction et avec les tutelles.

Le programme : <https://matériaux.sorbonne-universite.fr/evènements-imat/journee-de-linstitut-de-science-des-matériaux>

Forum des Métiers des Matériaux - 6 avril 2023

iMAT s'est associé à l'École Doctorale 397 Physique et Chimie des Matériaux pour organiser le premier **Forum des Métiers des Matériaux**. 10 grandes entreprises ont pu renseigner les 70 doctorants inscrits sur les opportunités professionnelles qui s'offrent à eux. Cet évènement sera amené à se reproduire tous les deux ans.



Projets lauréats AAP2023 contrats doctorants

Entretiens porteurs de projets

*Sophie Marbach, James Utterback,
Boris Vodungbo & Yann Le Godec*

Comprendre les mécanismes de déplacement des micro-organismes pour guérir les sols dégradés

Entretien avec **Sophie MARBACH**, porteuse de projet iMAT, chercheuse au sein du **laboratoire PHENIX** (Physicochimie des Electrolytes et Nanosystèmes interfaciaux).



Bonjour Sophie. Peux-tu nous présenter brièvement ton projet lauréat ?

L'objectif de ce projet de doctorat est d'élucider les mécanismes de transport de particules aux échelles micrométriques dans les sols grâce à de nouvelles méthodes théoriques d'analyse d'images et aussi à des expériences sur des sols modèles.

Pour favoriser la guérison de sols dégradés, il est essentiel de comprendre comment des petites particules comme les micro-organismes naviguent dans ces environnements avant de s'y nicher.

Mais pour comprendre, il faut pouvoir observer : les sols étant opaques, seules les techniques d'imagerie de type rayon X permettent d'explorer expérimentalement la dynamique interne de ces micro-organismes. Or, dans ces milieux fortement hétérogènes et désordonnés, il n'existe pas encore d'outil d'analyse d'image pour quantifier le mouvement de particules.

Quel est le plan de travail et quels seraient les objectifs à atteindre ?

Nous développerons d'abord un outil d'analyse pour sonder le mouvement de petites particules à partir de corrélations entre des images acquises aux rayons X dans des matériaux hétérogènes opaques.

Nous utiliserons ensuite cet outil pour mesurer le mouvement de particules, y compris de particules dites autopropulsées, qui représentent bien le mouvement des micro-organismes mais ne sont pas vivantes.

Enfin nous irons regarder ce mouvement dans des milieux artificiels mimant des sols et de complexité croissante, par exemple avec des agrégats de géométrie de plus en plus variée.

Notre but à long terme est d'isoler les mécanismes prépondérants de navigation dans ces milieux : nous voulons comprendre le déplacement de ces particules dans les labyrinthes formés par les agrégats, notamment quand elles sont autopropulsées, pour connaître leur vitesse de propagation de diffusion.

Mais au-delà de ces réponses associées à la navigation, nous espérons développer un outil qui pourra être largement utilisé pour sonder de façon plus générale les phénomènes dépendant du temps dans les milieux opaques. Par exemple, la dynamique de propagation d'un composé nocif, etc.

« Nous espérons développer un outil qui sonde la dynamique de propagation d'un composé nocif. »

Titre projet : Seeing in the dark: Dynamics in opaque porous materials

Porteur-ses de projet :

Sophie Marbach
(PHENIX)

Laurent Michot
(PHENIX)

Fabien Hubert
(IC2MP, Université Poitiers)

Doctorant :

Adam Carter
(École Doctorale Chimie physique et chimie analytique de Paris Centre - ED 388)

Un projet collaboratif

La collaboration s'est montée grâce à de nombreuses discussions entre collègues au sein de mon laboratoire et avec un laboratoire de l'Université de Poitiers. La collaboration est extrêmement interdisciplinaire puisqu'elle réunit un expert en synthèse de sols artificiels, un expert de diffusion aux rayons X, et une experte en théorie du mouvement aux échelles micrométriques. Ces différentes compétences sont nécessaires pour mener à bien le projet. Mais c'est également un attrait pour le/la doctorant-e, qui aura in fine rassemblé différentes compétences et pu essayer plusieurs techniques et méthodes d'approche d'un même problème. Nous bénéficions enfin de l'expertise de plusieurs autres collaborateurs locaux qui contribueront à l'avancement du projet.

« Adam est un étudiant versatile qui possède une forte formation théorique doublée d'un sens pratique. »

Comment s'est passé le recrutement d'Adam Carter, le doctorant lauréat ?

Nous avons fait la publicité de notre offre de thèse auprès des masters concernés, sur des listes de diffusion variées, et sur des agrégateurs de proposition de thèse. Cette large publicité nous a permis de recevoir une dizaine de candidatures. Néanmoins, l'annonce publiée début mai était relativement tardive par rapport au calendrier des masters en France, et nous avons reçu en majorité des candidatures de l'étranger. Nous avons également constaté un faible niveau de candidature féminine... d'ailleurs, je tiens à souligner que nous sommes une équipe complètement mixte, dans un environnement qui encourage la diversité et nous

« L'institut encourage les jeunes chercheurs à encadrer des thèses ce qui leur permet d'exprimer au mieux leur potentiel. »

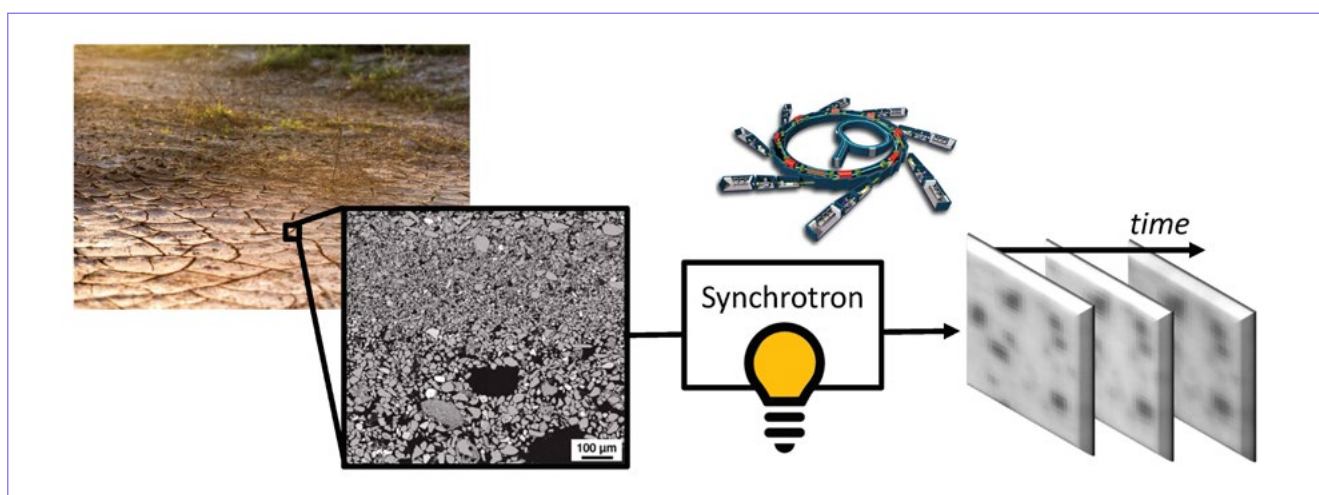
encourageons tous les profils à candidater.

Après une série d'entretiens préliminaires nous avons dressé une short liste de 4 candidats. Nous recherchions une physicien-ne, ingénieur-e ou physico-chimiste avec une première expérience en recherche (lors d'un stage de master par exemple) et très motivé par une thèse avec simultanément des développements théoriques et des expériences et en lien avec des applications autour du développement durable.

Et nous avons trouvé Adam Carter : il sera le doctorant qui travaillera sur le projet. Adam est un étudiant versatile qui possède une forte formation théorique doublée d'un sens pratique : cette double compétence nous semblait essentielle pour mener à bien le développement de cette nouvelle méthode.

Quels sont les qualités de l'institut pour ton projet ?

L'institut encourage les jeunes chercheurs à encadrer des thèses ce qui permet à des chercheurs comme moi de pouvoir exprimer au mieux leur potentiel en encadrant et apprenant autour d'un projet novateur et en transmettant le savoir. L'iMat encourageait cette année le développement de nouvelles méthodologies pour étudier les matériaux, ce qui correspondait absolument au projet que nous avons l'intention de porter, et donc qui nous a convaincu naturellement de candidater. L'institut constitue un réseau en Science des Matériaux qui permet d'ouvrir une porte sur une nouvelle communauté.



Controler l'énergie dans les nanomatériaux : 4 équipes de l'Alliance SU s'unissent pour relever le défis !

Entretien avec **James UTTERBACK**, porteur de projet et chercheur au sein de l'**Institut des NanoSciences de Paris (INSP)**.

Bonjour James. Dans quel champ de recherche s'inscrit votre projet ?

Le contrôle du transport électronique et thermique dans un matériau spécifique, dans une ou toutes les directions, révolutionnerait les dispositifs optoélectroniques comme les cellules solaires. Mais ce contrôle reste encore très difficile à maîtriser pour des échelles fonctionnelles et

d'application industrielle.

Notre recherche porte sur le transport d'énergie microscopique entre des nanocristaux fortement orientés et ordonnés dans un matériau.

Aujourd'hui, les dispositifs fabriqués à partir de matériaux de nouvelle génération tels que les nanocristaux colloïdaux de semi-conducteurs sont particulièrement attrayants :

- ils offrent une alternative rentable aux matériaux épitaxiés,
- ils permettent une large possibilité d'arrangements,
- ils permettent une fabrication ascendante de structures hiérarchiques.

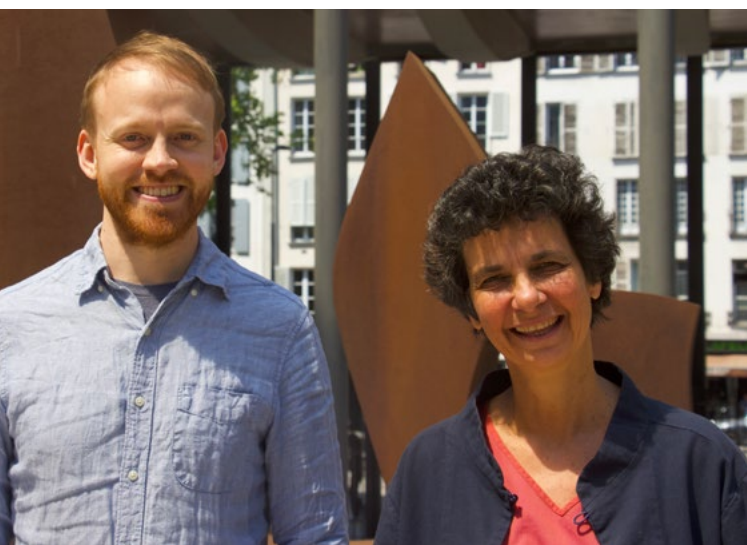
Approfondir l'assemblage contrôlé de tels réseaux de nanocristaux pour contrôler le transport des énergies est aujourd'hui particulièrement intéressant. Mais nous voulons aussi développer des méthodes expérimentales qui explorent localement les comportements microscopiques pour découvrir et mieux comprendre la finesse des propriétés structurelles qui les gouvernent.

L'innovation peut résider aussi dans des questionnements fondamentaux

Dans les dispositifs optoélectroniques fabriqués à partir de nanocristaux mis en solution, le transport isotrope de l'énergie dans les films auto-assemblés a été bien caractérisé. Cependant, plusieurs questions fondamentales restent en suspens concernant le transport dans des structures hiérarchiques plus avancées : par exemple, comment l'assemblage orienté et la dimensionnalité du réseau de nanocristaux influencent-ils le couplage entre les nanocristaux et le transport d'énergie ?

Pour répondre à ces questions, nous voulons combiner deux méthodes innovantes et construire des réseaux de nanocristaux hautement orientés et ordonnés. Nous étudierons ensuite le transport d'énergie microscopique à l'intérieur de ces réseaux.

« Notre collaboration concentre de nombreuses compétences au sein de l'Alliance SU. »



Titre projet : Spatiotemporal Study of Exciton Transport in Oriented Nanocrystal Arrays.

Porteur-ses de projet :

Emmanuel Lacaze
(Institut des NanoSciences de Paris)

Lydia Sosa-Vargas
(IPCM)

James Utterback
(Institut des NanoSciences de Paris)

James Connolly
(GeePs)

Doctorant :

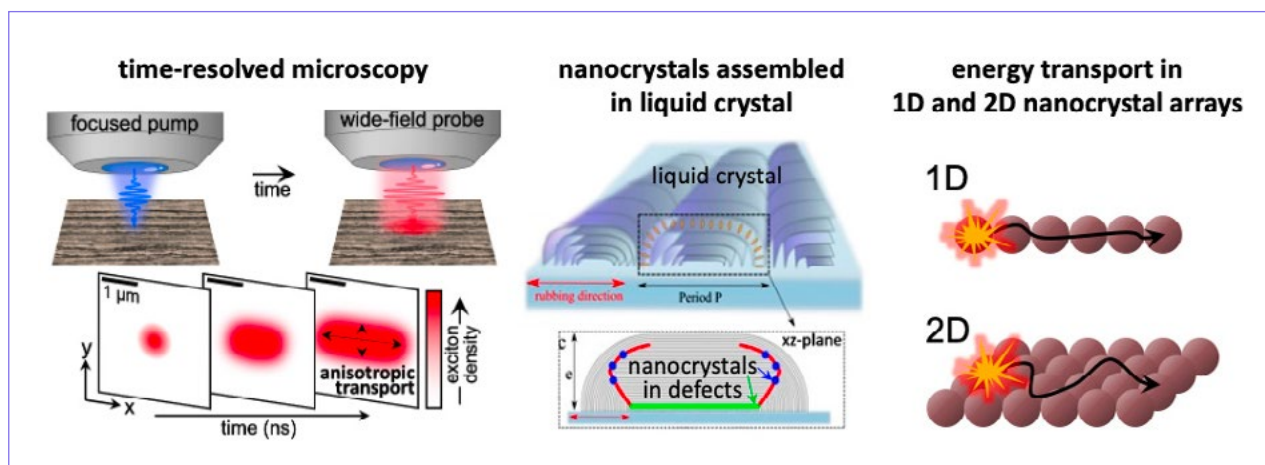
Matias Feldman
(École Doctorale Physique et chimie des matériaux - ED397)

Votre projet repose sur de multiples compétences...

Effectivement. Pour la synthèse de nos matériaux d'étude, *Emmanuelle Lacaze*, co-porteuse du projet, utilisera des défauts topologiques dans les cristaux liquides pour échafauder et diriger l'assemblage des nanocristaux. Parallèlement, mon expertise permettra de sonder le transport local d'énergie (transport d'électrons, d'excitons et de chaleur) dans les matériaux nanocristallins en utilisant la microscopie à réflectance transitoire. Ces deux compétences, combinées à une expertise complémentaire en matière de nanocristaux à structure moléculaire dans la simulation numériques de transport, constitueront une approche prometteuse pour observer et comprendre le transport anisotrope au sein de ces réseaux avec un niveau de détail microscopique sans précédent.

Comment s'est passé le recrutement ?

Nous avons eu la chance d'identifier rapidement *Matias Feldman* comme l'étudiant idéal pour mener à bien le projet, sa candidature est sortie du lot. Nous avons récolté une dizaine de candidatures dont quatre ont été sélectionnées pour un entretien. Le projet s'appuyant sur une forte interdisciplinarité, il était compliqué de choisir telle ou telle compétence. *Matias* a fait preuve d'une excellente compréhension de notre projet tout en mesurant ses limites : l'atout de sa candidature réside dans une maîtrise des modélisation et gestion de données expérimentales associée à une solide compétence en physique, compétence essentielle pour notre sujet car l'interprétation des données et l'extraction de paramètres utiles nécessiteront un feedback entre les expériences et la théorie.



La collaboration de 4 équipes de l'Alliance SU

Cette collaboration concentre de nombreuses compétences très spécifiques :

- la fonctionnalisation des nanocristaux (*Lydia Sosa-Vargas*, IPCM),
- l'assemblage contrôlé de nanocristaux (*Emmanuelle Lacaze*, INSP),
- la microscopie optique et en spectroscopie (*James Utterback*, INSP),
- les simulations par éléments finis (*James Connolly*, GeePs).

Nous réunissons ces compétences dans une dynamique et un questionnement commun : c'est ce qui fait la force et l'originalité de notre recherche.

À votre sens, que vous apporte l'institut ?

iMAT propose un espace unique de développement de projets collaboratifs agréant plusieurs équipes au sein de l'Alliance Sorbonne Université. Notre démarche cadre complètement avec les ambitions de l'institut et offre une expérience rare pour un doctorant : la préparation des nanocristaux, leur auto-assemblage en structures complexes, des expériences avancées de microscopie résolue en temps et des modélisations ou simulations mathématiques... Aucun candidat ne peut avoir d'expérience dans tous ces domaines mais tout candidat se formera sur l'expertise pointue de quatre porteurs de projet au fur et à mesure.

« iMAT propose un espace unique de développement de projets collaboratifs. »

« Utiliser des impulsions laser très brèves permettrait de créer des dispositifs de stockage plus rapides et moins énergivores. »

Entretien avec **Boris VODUNGBO**, porteur de projet, chercheur au sein du Laboratoire de Chimie Physique - Matière et Rayonnement (LCPMR).

Bonjour Boris. Quel est votre projet lauréat ?

Nous voulons étudier les propriétés de films magnétiques de très faible épaisseur soumis à des impulsions laser « ultracourtes ». Et quand je parle de faible épaisseur, il s'agit de quelques centaines de couches atomiques !

Les matériaux que nous cibons sont des alliages composés de métaux de transition (le Cobalt (Co) ou le Fer (Fe)) et de terres rares

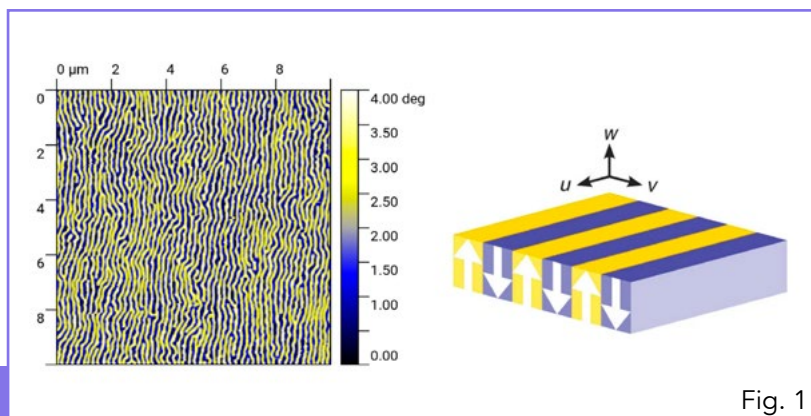


Fig. 1

Titre projet : Ultrafast dynamics of magnetic anisotropy and magnetic structure in CoTb and FeTb ferrimagnetic alloys.

Porteur-ses de projet :

Marcel Hennes

(Institut des NanoSciences de Paris)

Emmanuelle Jal

(Laboratoire de Chimie Physique - Matière et Rayonnement)

Boris Vodungbo

(Laboratoire de Chimie Physique - Matière et Rayonnement)

Doctorant :

Mohamed Helimi

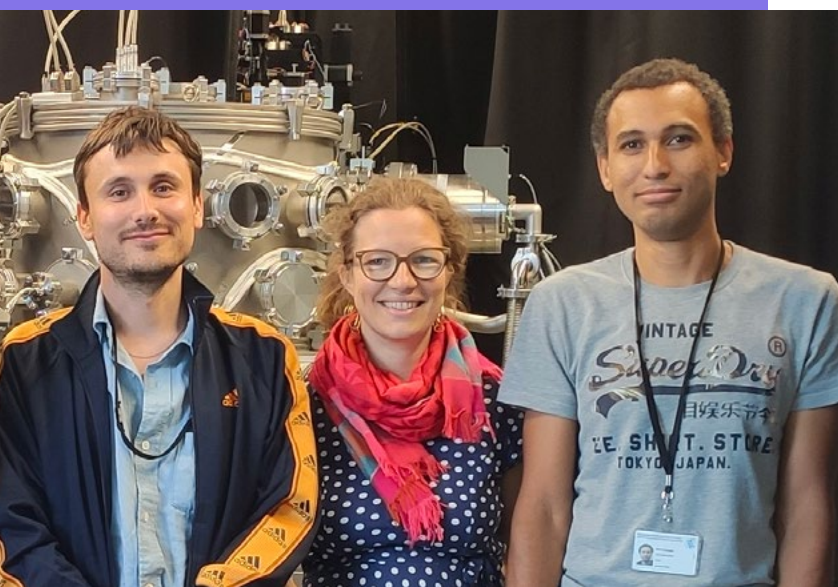
(École Doctorale Chimie-Physique et Chimie Analytique de Paris Centre - ED388)

(le Terbium (Tb) et le Gadolinium (Gd)). Ces alliages présentent des propriétés remarquables en raison du couplage des moments magnétiques des deux espèces. En modifiant l'épaisseur, la concentration ou la température des échantillons, il est possible d'obtenir une nanostructuration magnétique des films. Et tout en étant plus ou moins homogènes chimiquement, ils vont développer des régions d'aimantation préférentielles appelées domaines magnétiques (Fig.1) : nous voulons comprendre comment ces domaines et les zones de transition entre différents domaines sont modifiés par des impulsions optiques « femtoseconde » (10^{-15} seconde), des paquets de lumière dont la durée est de l'ordre d'un millionième de milliardième de seconde.

Mais pourquoi développer une action de recherche dans cette direction ?

Les couches minces magnétiques jouent un rôle fondamental dans le domaine du stockage de données : utiliser des impulsions laser très brèves au lieu d'un champ magnétique ou d'un courant permettrait de créer des dispositifs de stockage beaucoup plus rapides et moins énergivores.

La communauté scientifique étudie depuis les années 90 l'impact des impulsions laser femtoseconde sur des matériaux magnétiques et a identifié toute une série d'effets physiques inattendus. La modification de l'aimantation sur des échelles de temps de quelques dizaines de femtosecondes a surpris les



chercheurs et a donné naissance à un nouveau domaine scientifique : le *femtomagnétisme*. Progressivement, les scientifiques ont exploré le comportement de systèmes magnétiques de plus en plus complexes sur des temps très courts, alliant différentes composantes sous formes de multicouches ou d'alliages. Les alliages mélangeant des terres rares et des métaux de transitions ont attiré l'attention, car ils permettent le renversement local de l'aimantation en utilisant une seule impulsion de lumière. Malgré plus de 25 ans de travaux dans le domaine, les mécanismes physiques sont encore mal compris et particulièrement l'évolution temporelle de structures magnétiques complexes (en bandes et présentant des domaines aléatoires) et les temps caractéristiques entrant en jeu ont été peu étudiés. Ceci est en partie lié aux techniques expérimentales : la majorité des sources de laboratoire ne permettent pas de « voir » les domaines, leur taille est inférieure à la longueur d'onde de la lumière utilisée. En nous appuyant sur le savoir-faire développé au sein du LCPMR durant les dix dernières années, nous utiliserons des impulsions X provenant de différentes grandes infrastructures de recherches comme les lasers à électrons libres (FEL) afin d'obtenir à la fois une résolution spatiale nanométrique et une résolution temporelle de l'ordre de dizaines de femtoseconde.

Quels sont vos objectifs ?

Dans un premier temps, notre ambition est le contrôle précis et reproductible de la texture magnétique des échantillons. En nous appuyant sur une approche systématique reliant expériences et simulations numériques, il s'agira de comprendre l'impact de toute une série de paramètres sur les domaines magnétiques. Dans un deuxième temps, des expériences de type *pompe-sonde* (Fig.2) nous permettront de comprendre l'évolution des domaines suite à une excitation optique de très courte durée. Nous nous intéressons à la modification temporelle de l'anisotropie magnétique de l'échantillon, un paramètre qui décrit l'orientation préférentielle des moments magnétiques ainsi que leur stabilité par rapport aux fluctuations thermiques. L'impact de l'anisotropie sur la texture magnétique a été étudiée en détail pour le cas statique, lorsque le système magnétique est à l'équilibre : notre étude apportera des éléments clés pour comprendre l'évolution de l'anisotropie dans des systèmes fortement excités, hors-équilibre et l'évolution de la configuration magnétique sur des échelles de temps allant de la femto à la picoseconde (10^{-12} seconde).

Un projet fortement collaboratif

Avec *Marcel Hennes*, nous avons établi une collaboration de façon très naturelle : nous sommes d'anciens collègues du LCPMR. *Marcel* a intégré récemment l'INSP et la

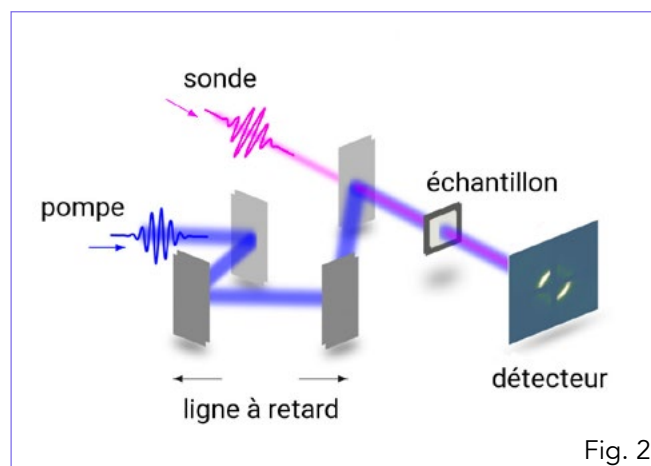


Fig. 2

proximité des deux laboratoires nous a permis de suivre de près et en temps réel les avancées de chacun.

Pour ce projet, une puissante collaboration entre nos deux laboratoires est indispensable, car notre recherche combine des techniques et savoir-faire très différents :

- l'INSP est spécialisé dans la croissance d'échantillons magnétiques en couches minces et possède les ressources et le savoir-faire nécessaire pour les caractériser et les optimiser.
- Le LCPMR possède une grande expertise dans le domaine du femtomagnétisme et des expériences résolues en temps utilisant des rayons X provenant de grandes infrastructures de recherche.

Le recrutement de Mohamed Helimi, doctorant...

Nous avons diffusé une annonce via une grande variété de canaux : UFR de physique et chimie de SU, Masters de physique et chimie, GDRs, écoles doctorales, instituts, etc. Une trentaine de candidatures nous est parvenue mais la recherche en France fait face à une pénurie de bons candidats, un phénomène récent peut-être lié au COVID. De nombreux instituts et laboratoires y font face et il faudra d'ailleurs y répondre dans les années à venir... Quoiqu'il en soit, nous avons retenu 4 candidats pour l'oral et *Mohamed Helimi* s'est imposé : il possède des connaissances solides dans le domaine du magnétisme, les qualités requises pour mener ce projet ; son intérêt pour les nanostructures magnétiques, sa curiosité, ses connaissances en programmation, son envie de voyager, pour participer à des expériences en collaboration sur des grands instruments en ont fait le doctorant idéal.

Les apports de l'institut

La pluridisciplinarité d'IMAT est un réel avantage pour nous : en mettant l'accent sur les matériaux et non pas sur une discipline, la collaboration entre les labos est grandement facilitée. Nous gagnerons en visibilité en étant financé par l'institut : ça nous permettra d'attirer de bons étudiants dans les prochaines années. Pour tout dire, nous envisageons déjà de démarrer de nouvelles collaborations dans le cadre des appel à projet à venir !

Développer la synthèse à haute pression de nouveaux matériaux en exploitant pour la première fois une propriété originale de l'ammoniac.

Entretien avec **Yann LE GODEC**, porteur de projet et chercheur au sein de l'Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie (IMPMC).



Titre : *High pressure reactive ammonia: an innovative route to synthesize new metal hydrides.*

Porteur de projet :

Yann Le Godec

(Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie)

Sandra Ninet

(Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie)

Doctorant :

Gisele De Lima Hippler

(École Doctorale Physique et chimie des matériaux - ED397)

Un projet qui concerne la synthèse sous haute pression

Le projet de recherche concerne la synthèse sous haute pression qui ouvre l'accès à une toute nouvelle chimie des éléments : elle permet aujourd'hui de générer des pressions dans la gamme du mégabar ($1 \text{ MBar} = 1 \times 10^6 \text{ atm}$) conduisant à des énergies de compression comparables à celles des liaisons chimiques. Ainsi, au niveau international, un nombre important de nouveaux nitrures et d'hydrures ont été synthétisés au cours de la dernière décennie à des pressions comprises entre 50 et 250 GPa ($1 \text{ GPa} = 1 \times 10^4$) et à des températures élevées à l'aide d'une cellule à enclumes de diamant chauffée par laser. De telles synthèses exploitent la réactivité induite par la pression aux conditions ambiantes d'éléments très stables tels que N_2 ou H_2 et des métaux nobles comme le Platine - Pt). Ces nouveaux composés formés à haute pression appartiennent à la classe des matériaux stratégiques très recherchés pour leurs applications de stockage d'énergie et pour leurs éventuelles propriétés supraconductrices à haute Tc.

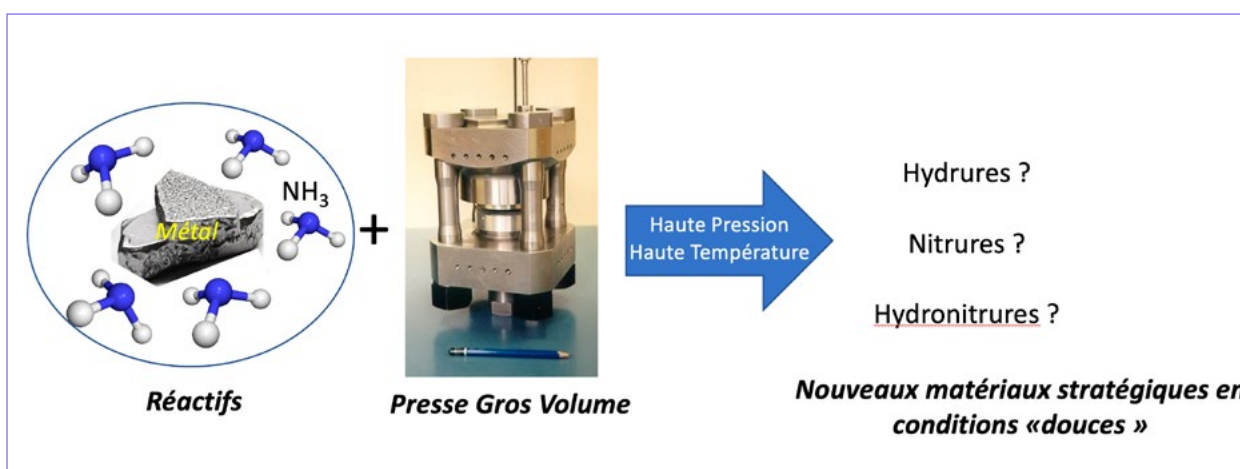
Dans la continuité de ces thématiques, l'objectif de notre projet est de développer la synthèse à haute pression de nouveaux hydrures métalliques en exploitant *pour la première fois* la très haute réactivité de l'ammoniac. Cette nouvelle méthode devrait permettre d'élaborer de nouveaux composés mais aussi de réduire les conditions de synthèse (P,T). Jusqu'à présent les hydrures synthétisés sous hautes pressions ont été principalement obtenus par réaction directe des métaux avec H_2 dans les cellules à enclume de diamant selon des méthodes « cook and look⁽¹⁾ ». Nous comptons exploiter la plus forte réactivité du NH_3 pour renforcer la diffusion de H au sein du métal afin de synthétiser des hydrures métalliques innovants MH_x avec une forte concentration d'hydrogène ($x > 1$) et à des conditions de pression de synthèse douces ($< 20 \text{ GPa}$) compatibles avec la synthèse dans des presses gros volumes.

En outre, nous mènerons des expériences de diffraction des rayons X résolues dans le temps (notamment sur des sources XFEL⁽²⁾) pour étudier les mécanismes de diffusion de l'hydrogène dans le métal et mieux comprendre les mécanismes de réaction, la cinétique associée et déterminer les paramètres optimaux de synthèse (P,T).

A l'échelle de la Faculté des Sciences et Ingénierie, iMAT permet de mettre en valeur des convergences de compétences et ainsi d'ouvrir de nouvelles thématiques originales.

Nous développerons une nouvelle technologie haute pression pour la synthèse de ces nouveaux hydrures métalliques dans une presse gros volume afin de caractériser pleinement leurs propriétés physiques et chimiques. Cette combinaison de technologies de pointe innovantes combinée à une collaboration entièrement nouvelle entre deux équipes complémentaires de l'IMPIC initiera une nouvelle thématique matériaux prometteuse visant à obtenir des hydrures métalliques exceptionnels et à les breveter au sein de l'iMAT.

Ces expériences pionnières, soutenues par Sorbonne Université (Emergence) et le CNRS (Tremplin), lui ont permis d'élaborer de nouveaux composés ouvrant de nouvelles perspectives de synthèse en conditions douces, en presse gros volume, que nous mettrons en œuvre dans notre recherche. Si nous n'avons jamais travaillé ensemble par le passé, cette complémentarité de compétences et cette alliance entre chimie et physique permettent d'aborder ce nouveau projet très ambitieux avec confiance et enthousiasme.



Une nouvelle collaboration au sein de l'IMPIC

Le projet est issu d'une collaboration interdisciplinaire entre 2 équipes différentes du même laboratoire : DEMARE et PHYSIX, toutes deux à l'IMPIC.

D'un profil plus chimiste dans le groupe DEMARE, je travaille depuis 20 ans dans la synthèse Haute Pression de nouveaux matériaux dans une gamme de pression inférieure à 20 GPa en utilisant des presses gros-volume (presse Paris-Edimbourg ou multi-enclumes). J'ai déjà développé par le passé une technique de chargement d'ammoniac pour des expériences à haute pression et haute température (HP-HT) de grand volume où la réaction sous HP-HT de NH₃ (utilisé comme solvant) avec du bore amorphe réduit d'un facteur 3 les conditions de pression pour la synthèse du nitrure de bore cubique (c-BN), un composé ultradur stratégique synthétisé généralement à 6 GPa en industrie avec un solvant métallique. Ma collègue Sandra Ninet, physicienne dans le groupe PHYSIX, est une grande spécialiste de NH₃ sous pression en cellule à enclumes de diamant (CED). Elle a en particulier mis en évidence des états spectaculaires à HP-HT tel que l'ammoniac superionique : une glace conductrice protonique qui pourrait être présente dans les planètes glacées comme Neptune. Depuis 2 ans, Sandra a initié un nouvel axe en suivant la réactivité de NH₃ avec des métaux CED à l'aide d'expériences de diffraction résolues en temps, au XFEL européen à Hambourg. Cette nouvelle source de rayons X pulsés et très intenses est révolutionnaire pour la synthèse HP car elle donne accès à la cinétique de réactions, même en conditions extrêmes.

Une doctorante pilotera le projet

Nous avons diffusé une annonce sur plusieurs listes de diffusion nationales et internationales et opéré une première sélection d'une dizaine de candidatures. Après examen approfondi des dossiers, nous avons retenu 4 candidats pour l'oral et avons finalement retenu Mme Gisèle De Lima Hippler. Gisèle est une brillante étudiante brésilienne qui possède des connaissances approfondies aussi bien dans le domaine de la science des matériaux que dans celui des technologies des hautes pressions associées aux grands instruments. Ses compétences et son enthousiasme pour notre thématique en font la doctorante idéale pour mener à bien ce projet.

L'appel à projet de l'institut de science des matériaux

L'iMAT, par sa structure regroupant plusieurs disciplines scientifiques qui font la science des matériaux, par son ambition de développement de nouvelles technologies et de nouveaux matériaux innovants, nous semblait la structure idéale pour développer cette ambitieuse recherche, originale et définitivement pluridisciplinaire. A l'échelle de la Faculté des Sciences et Ingénierie, iMAT permet de mettre en valeur des convergences de compétences et ainsi d'ouvrir de nouvelles thématiques originales.

(1) : sans caractérisation in situ durant le processus de synthèse.
(2) : X-ray free-electron laser - lasers X à électrons libres.

