



**INP**

LES GROUPEMENTS  
DE RECHERCHE  
DE L'INSTITUT DE  
PHYSIQUE EN 2019



## TABLE DES MATIÈRES

Édito	3
Architecture et dynamique nucléaires (ADN)	4
Atomes froids (AF)	6
Chromodynamique quantique (QCD)	8
Contrôle des ondes en milieu complexe (COMPLEXE)	10
Dynamique quantique dans les systèmes moléculaires (THEMS)	12
Edifices moléculaires isolés et environnés (EMIE)	14
Graphene and co	16
Implémentations matérielles du calcul naturel (BIOCOMP)	18
Ingénierie quantique, des aspects fondamentaux aux applications (IQFA)	20
L'or nanométrique (Or-nano)	22
Lasers énergétiques et intenses et plasmas sous conditions extrêmes (LEPICE HDE)	24
Liquides aux interfaces (Lal)	26
Matériaux, états électroniques, interactions et couplages non-conventionnels (MEETICC)	28
Modélisation des matériaux (ModMat)	30
Nanocristaux dans les diélectriques pour l'électronique et pour l'optique (NACRE)	32
Optomécanique et nanomécanique quantiques (MecaQ)	34
Pérovskites halogénées (HPERO)	36
Physique quantique mésoscopique (MESO)	38
Polymères et océans (P&O)	40
Processus ultimes en épitaxie de semi-conducteurs (PULSE)	42
Rencontres de spectroscopie théorique (REST)	44
Spectroscopie moléculaire (SPECMO)	46
Structure et dynamique des matériaux dans leur environnement « réel » (NANOPERANDO)	48
Ultrafast phenomena (UP)	50



**Astrid Lambrecht,**  
directrice de l'Institut de physique

© Cyril Frésillon / CNRS Photothèque

Le groupement de recherche (GDR) est une structure du CNRS qui met en réseau et fédère une communauté scientifique autour d'une thématique originale émergente.

L'Institut de physique initie des GDR sur des thématiques scientifiques qui répondent à des problèmes fondamentaux ou sociétaux actuels. Ces thématiques relèvent du cœur de métier de l'Institut de physique, mais peuvent également avoir trait aux interfaces qu'entretient la physique avec d'autres domaines scientifiques. En ce sens, les GDR à caractère transdisciplinaire portés par l'Institut de physique sont soutenus en association avec les

autres instituts CNRS concernés. Définis pour une durée de cinq ans, renouvelables une fois, les GDR sont pilotés par un directeur ou une directrice et regroupent des équipes comprenant des chercheurs, enseignants-chercheurs, doctorants, post-doctorants, ingénieurs, relevant d'unités du CNRS, ainsi que des partenaires institutionnels - tels que le CEA, l'Inserm, l'Inra ou l'Ifremer - et des industriels.

Les principales missions d'un GDR consistent à animer une communauté thématique souvent pluridisciplinaire, avec la volonté de s'ouvrir à de nouveaux partenaires (institutionnels, industriels ou prestataires), à développer les

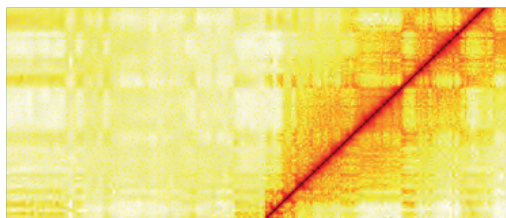
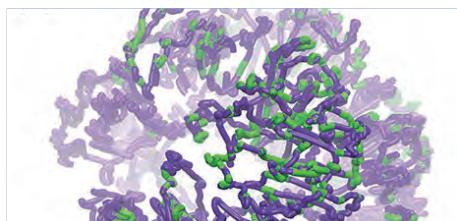
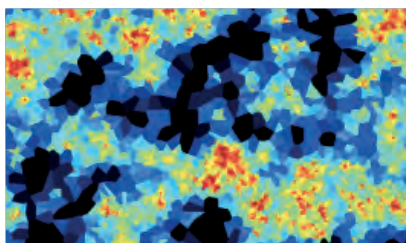
échanges entre scientifiques au sein du réseau de laboratoires impliqués, et à mettre en place des projets scientifiques aux échelles nationale, européenne ou internationale.

Ce fascicule présente, sous la forme de fiches synthétiques, les objectifs et les perspectives de chacun des GDR portés par l'Institut de physique. Au-delà de la présentation des recherches menées sur les thématiques émergentes dans ce cadre, il offre, par sa diffusion, la possibilité à de nouveaux partenaires relevant d'autres champs disciplinaires de rejoindre ces GDR, en les enrichissant de leurs expertises scientifiques complémentaires.

# GDR

## ARCHITECTURE ET DYNAMIQUE NUCLÉAIRES (ADN)

La mission du groupement de recherche Architecture et dynamique nucléaires (ADN) est de rassembler la communauté française impliquée dans l'étude de l'organisation nucléaire et intéressée par la modélisation physique. A l'interface de la physique et de la biologie, le GDR ADN vise à comprendre le rôle fonctionnel de l'organisation nucléaire dans les processus physiologiques et les pathologies associées en suscitant l'émergence d'une approche intégrée de l'architecture des chromosomes et de leur dynamique aux différentes échelles de taille et de temps.



## 9 thématiques

Techniques expérimentales de la biologie moléculaire et cellulaire

Microscopie de super-résolution

Biotechnologies

Approches haut-débit

Bio-informatique

Physique statistique

Simulation numérique

Techniques de visualisation et d'animation 3D

Modélisation physique

**200** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **50** laboratoires

**Coordinateur :** Jean-Marc Victor (LPTMC) | [victor@lptmc.jussieu.fr](mailto:victor@lptmc.jussieu.fr)

**Coordinateur adjoint :** Cédric Vaillant (LPENSL) | [cedric.vaillant@ens-lyon.fr](mailto:cedric.vaillant@ens-lyon.fr)

# PROSPECTIVES

Le groupement de recherche Architecture et dynamique nucléaires (ADN) a vocation à fonctionner de manière coopérative et solidaire, et à renforcer les liens entre les équipes travaillant sur l'organisation 3D des génomes. Il a la double particularité de s'intéresser à l'ensemble du monde vivant – eucaryotes, mais aussi bactéries et archa – et de privilégier la modélisation physique. Ce choix d'approche ouvre la possibilité unique d'envisager l'organisation nucléaire à la lumière de l'évolution des espèces. Comment les fonctions universelles remplies par les chromosomes de l'ensemble du monde vivant sont-elles mises en œuvre par les différents types d'organisation nucléaire ? Selon quels principes physiques ? Quels mécanismes ont commencé à se mettre en place mais sont restés à l'état d'ébauche chez certaines espèces (processus dits « inchoatifs ») alors qu'ils ont abouti chez d'autres ?

Au défi scientifique immense que représente la compréhension de l'organisation nucléaire physiologique et de ses pathologies, s'ajoute un autre défi – celui du soutien des équipes concernées face à la concurrence internationale. Une collaboration dédiée à la même thématique, soutenue

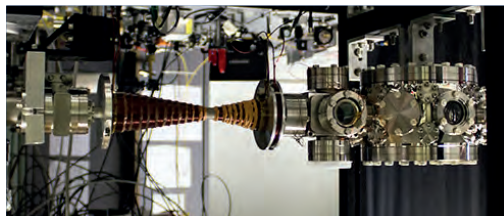
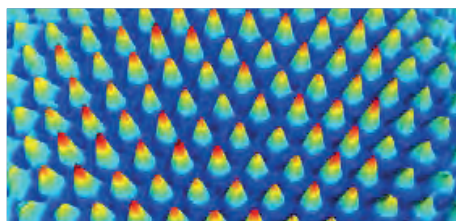
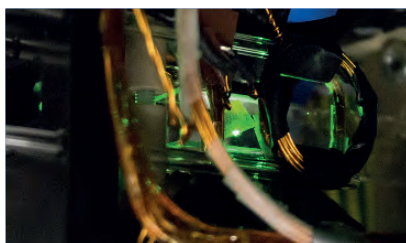
financièrement par les *National Institutes of Health* (NIH), a en effet démarré aux Etats-Unis en 2015 avec le lancement du programme « 4D Nucleome ». Exclusivement dédié à l'étude de l'architecture et de la dynamique des noyaux de cellules humaines, ce programme pluriannuel, doté d'un budget de 25 millions de dollars pour sa première année de fonctionnement, vise à prendre le *leadership* de ce domaine très compétitif. Une réponse européenne, baptisée *LifeTime*, vient d'être soumise pour être intégrée à terme dans un « FET Flagship » du prochain programme cadre de l'Union européenne (FP9 succédant à Horizon 2020).

Nous souhaitons à cette occasion unir nos forces à celles du GDR Imabio avec qui nous avons déjà organisé deux rencontres à Millau sur la « Modélisation physique de l'organisation nucléaire et de ses pathologies ». L'initiative *LifeTime* nous paraît une excellente occasion de développer la synergie que nous avons amorcée et de faire valoir les atouts de nos approches. Ce serait alors aussi une excellente occasion pour le CNRS de peser sur les orientations des futurs programmes européens.

# GDR

## ATOMES FROIDS (AF)

La mission du groupement de recherche Atomes froids (AF) est de rassembler la communauté française dont les activités de recherche portent sur les atomes froids. En s'appuyant sur des développements expérimentaux et théoriques, les scientifiques abordent aussi bien des questions d'ordre fondamental qu'appliqué autour de la problématique du refroidissement, par laser ou par évaporation des atomes.



## 9 thématiques

---

Matière quantique ultrafroide

---

Molécules froides et effets à N corps

---

Ondes de matière et ondes lumineuses, cohérence et désordre

---

Information et optique quantiques

---

Métrieologie, mesures fondamentales et instrumentation

---

Interface avec d'autres domaines

---

**200** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **22** laboratoires

---

**Coordinateur** : Robin Kaiser (INPHYNI) | [robin.kaiser@inphynt.cnrs.fr](mailto:robin.kaiser@inphynt.cnrs.fr)

**Coordinateurs adjoints** : Hélène Perrin (LPL), Jacob Reichel (LKB) et Tommaso Roscilde (LPENSL)

# PROSPECTIVES

## ATOMES FROIDS POUR LES TECHNOLOGIES QUANTIQUES

Ce sujet actuellement très soutenu au niveau européen (avec en particulier le « Flagship » sur les technologies quantiques) figure bien évidemment parmi les priorités du domaine des atomes froids et il convient de maintenir une action importante dans ce contexte, avec le potentiel reconnu des systèmes d'atomes froids pour le développement des technologies quantiques. Il convient cependant de noter que les atomes froids ont de nombreuses autres applications, tant en recherche fondamentale qu'en recherche appliquée. Le GDR Atomes froids est structuré en thèmes et nous pensons qu'il sera important de demander aux responsables de ces thèmes d'organiser des réunions thématiques dans des domaines qui ne bénéficient pas de la même visibilité que les technologies quantiques (comme la chimie ultrafroide ou les systèmes désordonnés). Le GDR considère qu'il est important de soutenir ces directions de recherche et de promouvoir l'émergence de nouvelles directions de recherche.

## STRUCTURATION NATIONALE

L'essentiel des responsables des groupes travaillant sur les atomes froids se connaissent bien et peu (ou pas) de groupes semblent isolés en France. Le GDR AF permet en particulier de garder un lien avec des groupes hors Ile-de-France (qui ont la structure SIRTEQ « sciences et ingénierie en région Ile-de-France pour les technologies quantiques » et la proximité géographique favorisant les échanges). Le

développement de nouvelles activités autour des atomes froids se fait parfois sans concertation nationale et le GDR Atomes froids n'a pas la vocation de piloter une telle politique de recherche. Cependant, en tant que structure CNRS, il serait intéressant pour le GDR de savoir s'il convient de soutenir plus particulièrement des activités nouvelles qui se développent.

## LIENS INTERNATIONAUX

Parmi les pays BRICS (Brésil, Russie, Inde, Chine et Afrique du Sud), on note que la Chine, l'Inde et le Brésil, sont en train de développer leur activité en atomes froids. La Chine est particulièrement active et il serait important d'avoir une concertation nationale pour planifier les échanges avec les groupes en Chine. Des liens très fructueux entre la France et le Brésil existent depuis longtemps et un réseau de recherche international (IRN) incluant les atomes froids serait une excellente façon de maintenir ces liens. Si besoin, le GDR Atomes froids peut aider à organiser des réunions et des visites pour de tels échanges, pourvu que le budget (de fonctionnement du GDR ou *ad hoc* pour des échanges spécifiques) le permette.

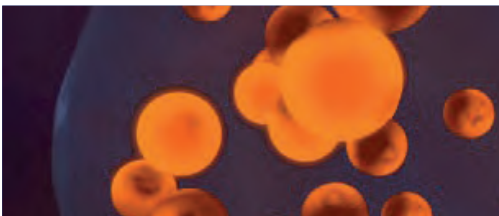
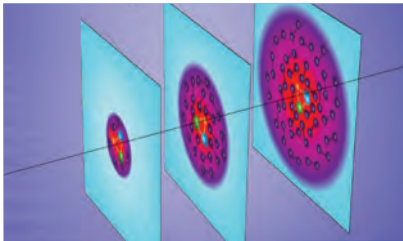
## FORMATION ET DIFFUSION GRAND PUBLIC

Le GDR Atomes froids a depuis sa création une action résolument tournée vers les jeunes (avant et pendant la thèse). En outre, un projet de livre sur les applications des atomes froids est lancé et vise un public en dehors des laboratoires de recherche.

# GDR

# CHROMODYNAMIQUE QUANTIQUE (QCD)

La mission du groupement de recherche Chromodynamique quantique (QCD) est de rassembler la communauté française dédiée à l'étude de l'interaction forte. Le GDR QCD regroupe théoriciens et expérimentateurs autour d'une grande variété thématique, qu'il s'agisse des gammes d'énergies mises en jeu, du nombre de degrés de libertés excités, des outils expérimentaux ou encore des concepts théoriques sous-jacents.



## 5 thématiques

---

Interactions simples et multiples entre partons dans les nucléons

---

Physique de la saturation et effets collectifs dans les nucléons et noyaux

---

Sondes dures : jets et quarkonia en QCD perturbative et au-delà

---

Prospectives sur les observables de l'interaction forte

---

QCD à basse énergie

---

**130** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **20** laboratoires

---

**Coordinateur** : Samuel Wallon (LPT) | [samuel.wallon@th.u-psud.fr](mailto:samuel.wallon@th.u-psud.fr)

**Coordinateurs adjoints** : Frédéric Fleuret (LLR) et Hervé Moutarde (IRFU/DphN)



# PROSPECTIVES

Les équipes du groupement de recherche QCD sont au centre d'un très grand nombre de projets, dans une très large gamme d'énergie. Deux sujets, rassemblant une partie significative de la communauté du GDR, avec une expertise française très complète au meilleur niveau international, illustrent ce foisonnement de travaux.

A la frontière entre physique nucléaire et physique des particules, le projet de collisionneur électrons-ions (EIC) permettant d'obtenir des énergies dans le centre de masse typiquement entre 10 et plus de 100 GeV, et qui devrait être construit aux Etats-Unis (BNL ou JLab) dans la prochaine décennie, est particulièrement prometteur. Il permettra de répondre à de très nombreuses questions ayant trait à la dynamique interne des hadrons ou des ions lourds (tomographie spatiale et en impulsion des nucléons et des noyaux et étude de leur contenu en spin, saturation gluonique aux densités extrêmes), et d'améliorer notre compréhension des multiples effets nucléaires « froids », prérequis pour la compréhension du plasma quark-gluon « chaud » étudié par plusieurs équipes du GDR au sein des quatre grandes collaborations du LHC.

La mesure du moment magnétique anomal du muon représente un enjeu phénoménologique considérable. Elle fournit en effet un accès direct aux corrections quantiques à l'interaction entre le spin du muon et un champ magnétique, *a priori* d'origine électromagnétique, forte et faible.

La précision expérimentale, qui atteint les  $6 \cdot 10^{-10}$ , connaîtra une amélioration d'un facteur 4 suite à de nouvelles expériences, à Fermilab (Etats-Unis) depuis 2018, et plus tard à J-Parc (Japon). Actuellement, la prédiction théorique fait état d'un désaccord de plus de 3.5 déviations standards avec l'expérience. Cela constitue une fenêtre unique sur la physique au-delà du Modèle Standard, avec des corrections quantiques supplémentaires par rapport aux effets connus, pourvu que les contributions venant de l'interaction forte soient contrôlées avec la même précision que ce qui est attendu expérimentalement.

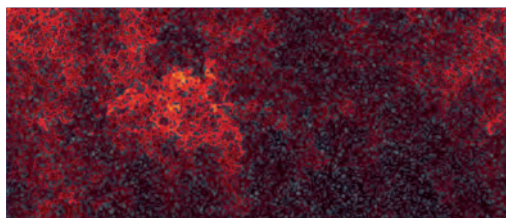
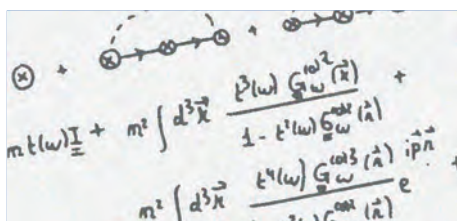
## STRUCTURATION ET FORMATION

L'objectif du GDR QCD à sa création était de rassembler des équipes expérimentales et théoriques ayant des intérêts scientifiques très variés. Le GDR permet effectivement d'échanger sur ces sujets et de partager des méthodes et questionnements entre équipes qui étaient *a priori* relativement éloignées scientifiquement, et de profiter de leurs multiples liens internationaux bien établis. En particulier, deux séries d'Écoles internationales QCD, organisées chaque année en alternance à Orsay et à St-Jacut-de-la-Mer, rassemblent de nombreux étudiants, post-doctorants et chercheurs permanents, avec des orateurs de tout premier plan mondial.

# GDR

## CONTRÔLE DES ONDES EN MILIEU COMPLEXE (COMPLEXE)

La mission du groupement de recherche Contrôle des ondes en milieu complexe (COMPLEXE) est de rassembler la communauté française alliant recherches fondamentale et appliquée, dans le domaine de la physique des ondes en milieu complexe. Le GDR COMPLEXE souhaite fédérer opticiens, acousticiens, physiciens des atomes froids et sismologues, et s'intéresse aux aspects fondamentaux de la propagation des ondes, ainsi qu'au développement de nouvelles méthodes de contrôle et d'imagerie des ondes au sein de milieux complexes.



### 4 thématiques

Techniques de contrôle, d'imagerie et de caractérisation des ondes dans les milieux désordonnés

Recherche fondamentale sur les aspects mésoscopiques de la propagation des ondes dans les milieux complexes

Transport ondulatoire dans les milieux corrélés ou non linéaires

Les ondes comme simulateurs de systèmes quantiques

**115** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **30** laboratoires

**Coordinateur :** Nicolas Cherroret (LKB) | [cherroret@lkb.upmc.fr](mailto:cherroret@lkb.upmc.fr)

**Coordinateur adjoint :** Alexandre Aubry (Institut Langevin) | [alexandre.aubry@espci.fr](mailto:alexandre.aubry@espci.fr)

# PROSPECTIVES

Le groupement de recherche COMPLEXE regroupe des chercheurs et des chercheuses venant d'horizons variés mais motivés par un problème commun : décrypter et exploiter la propagation des ondes dans les milieux « complexes ». Dans notre environnement direct, les milieux complexes sont plus souvent la règle que l'exception : il s'agit par exemple des matériaux déviant de l'ordre cristallin à cause de défauts, des tissus biologiques hétérogènes, des émulsions ou encore des gaz denses de particules. Dans ces systèmes, la propagation des ondes ne se fait pas en ligne droite mais est erratique. Ce processus est à la fois un problème et une richesse, car il rend l'imagerie difficile mais donne en même temps naissance à des phénomènes physiques originaux. L'étude des ondes en milieux complexes soulève des défis fondamentaux et appliqués au cœur de l'interdisciplinarité du GDR COMPLEXE.

## LE CONTRÔLE ET L'IMAGERIE

Dans un milieu complexe, contrôler la propagation des ondes ou les utiliser pour faire de l'imagerie a longtemps semblé sans espoir. De gros progrès ont pourtant été réalisés récemment : grâce aux techniques de façonnage d'un front d'onde, ou en enregistrant la matrice de diffusion du milieu (sa « carte d'identité »), on sait désormais forcer une onde à suivre un trajet préétabli à travers un milieu opaque, et même imager à travers lui. Les chercheurs et chercheuses du GDR COMPLEXE travaillent désormais à améliorer la rapidité de ces techniques, à simplifier leur mise en œuvre et à augmenter leur résolution, notamment pour les rendre utilisables au niveau industriel. Quant à l'imagerie à l'intérieur d'un milieu complexe épais, elle demeure un défi majeur.

## LE TRANSPORT ET LA MÉSCOPIE

L'étude du transport des ondes dans les milieux complexes et des phénomènes d'interférences qu'il génère est au cœur du GDR COMPLEXE, dans des domaines aussi variés que le transport électronique dans les conducteurs, la propagation de la lumière dans les milieux opaques ou la physique des ondes atomiques. Dans ce cadre, certains phénomènes que l'on pensait compris ont été remis en question ces dernières années, comme l'existence même de la localisation d'Anderson de la lumière. De même dans les milieux désordonnés présentant de fortes corrélations, les concepts les plus simples comme celui de diffusion semblent ne plus s'appliquer. Développer un cadre théorique permettant de comprendre ces nouveaux systèmes et les caractériser systématiquement sont des enjeux centraux pour les années à venir.

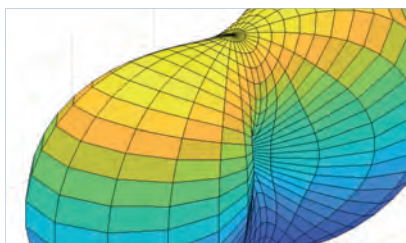
## LA SIMULATION DU MONDE QUANTIQUE

Utiliser un système ondulatoire pour reproduire la physique du monde microscopique est une idée en plein essor. Les propriétés du graphène ou d'isolants topologiques peuvent ainsi aujourd'hui être reproduites par transport de micro-ondes dans des réseaux bien choisis. Dans le même esprit, on peut réaliser l'analogie de la superfluidité d'un gaz quantique avec un faisceau optique se propageant dans un milieu non linéaire. Le GDR COMPLEXE soutient plusieurs équipes travaillant sur ces questions. Il y a fort à faire dans les prochaines années, notamment pour développer les expériences encore rares sur ces sujets, et exploiter les spécificités apportées par les systèmes analogues ondulatoires.

# GDR

## DYNAMIQUE QUANTIQUE DANS LES SYSTÈMES MOLÉCULAIRES (THEMS)

La mission du groupement de recherche Dynamique quantique dans les systèmes moléculaires (THEMS) consiste à développer des approches théoriques afin de répondre aux défis scientifiques posés par la physico-chimie en milieu froid et ultra-froid, l'interaction avec des champs intenses, l'information quantique, la nanophysique, l'environnement, et la biophysique. Le GDR THEMS s'emploie à susciter des initiatives de formation en direction des jeunes chercheurs et chercheuses, à renforcer et stimuler les collaborations entre les physiciens théoriciens, ainsi qu'à maintenir le lien indispensable avec les développements expérimentaux.



### 3 thématiques

---

Systemes moléculaires isolés

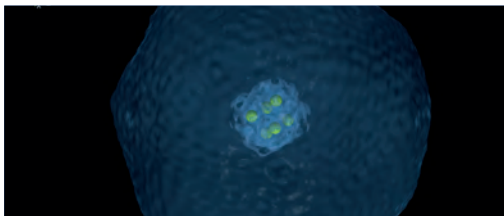
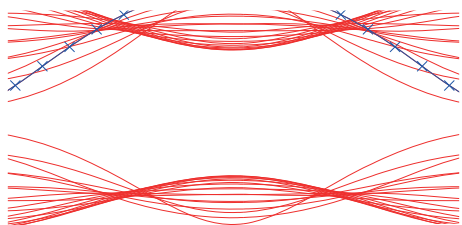
---

Systemes moléculaires en présence de champs électromagnétiques intenses

---

Systemes moléculaires environnés

---



**75** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **25** laboratoires

---

**Coordinateur :** Olivier Dulieu (LAC) | [olivier.dulieu@u-psud.fr](mailto:olivier.dulieu@u-psud.fr)

**Coordinateurs adjoints :** Nadine Halberstadt (LCAR) et Thierry Stoecklin (ISM)

# PROSPECTIVES

Les méthodes théoriques de la physique atomique et moléculaire et de la physico-chimie sont employées dans une grande variété de contextes qui impliquent la connaissance de la structure et de la dynamique de systèmes quantiques à nombre fini (de deux à plusieurs dizaines) de corps isolés en phase gazeuse, soumis à des champs électromagnétiques externes, ou encore influencés par leur environnement.

Le développement des théories et modèles ainsi que l'augmentation continue des moyens de calcul informatique qui l'accompagne permettent de traiter de plus en plus précisément la dynamique du système complexe à N corps (composé typiquement de quelques noyaux et électrons) que constitue un édifice moléculaire isolé. Mais l'environnement dans lequel ces molécules sont plongées induit une complexité supplémentaire le plus souvent hors de portée de ces méthodes. La complexité de ce type de systèmes réside non seulement dans le nombre de particules impliquées, mais aussi dans la diversité des interactions mises en jeu, la présence des effets quantiques, l'effet d'un environnement et la spécificité de la réponse du système à l'excitation par des impulsions lumineuses externes.

Le traitement de ces problèmes requiert la mise en œuvre de méthodes théoriques et le développement de modèles originaux et très variés, ainsi que de logiciels originaux et l'utilisation de programmes commerciaux. C'est le défi scientifique qui rassemble les acteurs du GDR THEMS, qui

se résume au travers de plusieurs questions :

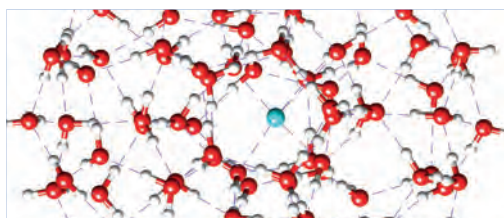
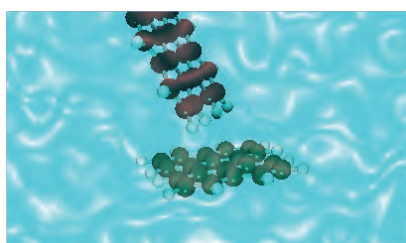
- Dans quelle mesure la connaissance précise des systèmes quantiques à petit nombre de corps peut-elle être transférée à des systèmes à N corps ?
- Quel équilibre doit être trouvé entre les approches « tout quantique », et les approches classiques ou semi-classiques ? Dans quelle mesure ce changement de paradigme est-il associé à une taille particulière du système étudié ?
- Quel renouveau peut-on espérer des méthodologies établies parfois depuis de nombreuses années, et qui ont bénéficié continûment des développements des capacités de calcul ?

Enfin, cette thématique devra probablement aborder un changement de paradigme dans la façon de programmer les codes numériques correspondants, en lien avec l'extension des ordinateurs parallèles basés sur GPU ou localisés dans les centres de calcul. En particulier, il n'est pas garanti que la mise à disposition des ressources informatiques actuellement nécessaires à la thématique (méthodes peu parallélisables, mémoire partagée, etc.) demeurent pérennes dans les centres de calcul. Le GDR THEMS pourra s'emparer à terme de ce défi technique, en proposant des formations appropriées pour la traduction et le portage des codes actuels.

# GDR

# EDIFICES MOLÉCULAIRES ISOLÉS ET ENVIRONNÉS (EMIE)

La mission du groupement de recherche Edifices moléculaires isolés et environnés (EMIE) est de rassembler la communauté française des physiciens et chimistes travaillant sur les agrégats atomiques et moléculaires en phase gazeuse. L'étude de ces systèmes permet de caractériser au niveau microscopique les mécanismes fondamentaux physiques et chimiques qui interviennent jusqu'au niveau macroscopique. La force du GDR EMIE repose sur un langage commun et sur une grande variété de techniques expérimentales et d'outils théoriques, offrant la possibilité de traiter aussi bien des questions fondamentales que d'étudier des systèmes toujours plus riches, de façon plus complète et détaillée.



## 7 thématiques

---

Développements instrumentaux

---

Méthodes théoriques

---

Agrégats et complexes non-covalents

---

Nucléation, agrégation et fragmentation

---

Physico-chimie pour les biomolécules et molécules  
astrophysiques

---

Amas et grains carbonés

---

Rôle de l'environnement

---

**250** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **40** laboratoires

---

**Coordinateur :** Florent Calvo (LIPhy) | [florent.calvo@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:florent.calvo@univ-grenoble-alpes.fr)

**Coordinateur adjoint :** Thomas Pino (ISMO) | [thomas.pino@u-psud.fr](mailto:thomas.pino@u-psud.fr)

# PROSPECTIVES

L'objectif principal des recherches menées au sein du réseau Edifices moléculaires isolés et environnés (EMIE) est d'améliorer notre compréhension de la matière complexe aux échelles atomique et moléculaire.

Les chercheurs et les chercheuses du GDR EMIE participent aux développements méthodologiques permettant de caractériser toujours plus finement les édifices moléculaires complexes, notamment par voie spectroscopique, et contribuent à étendre leur expertise dans des conditions plus variées de conditions extérieures (température, densité), d'échelles de temps et d'espace couvertes.

L'extension des échelles de temps procède aussi bien aux temps courts, pour traiter des dynamiques électronique et nucléaire induites par des excitations brèves (attosecondes, picosecondes), qu'aux temps longs macroscopiques et les processus de relaxation lents tels que la dissociation ou l'émission radiative, ces processus pouvant désormais être étudiés en pièges pour les espèces chargées.

Les échelles d'espace couvertes sont également en forte progression dans notre communauté, dont les centres d'intérêt concernent actuellement la réactivité hétérogène, les systèmes déposés, solvatés ou en matrice. Comme

pour les nouvelles échelles de temps, l'un des objectifs du GDR vise précisément à développer les méthodologies permettant le traitement d'édifices toujours plus complexes, en identifiant les contributions respectives de l'environnement et de l'objet d'étude.

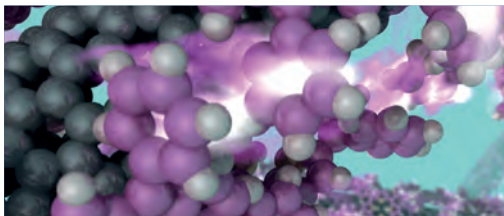
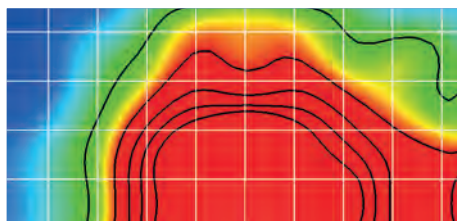
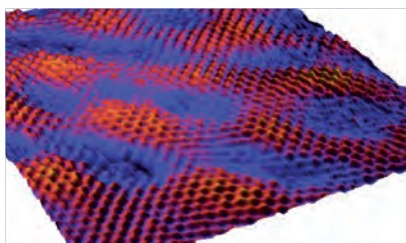
Outre ces développements techniques, le GDR s'ouvre de manière croissante vers des disciplines aux frontières de la physico-chimie fondamentale, selon deux axes majeurs qu'il entend féconder davantage dans un avenir proche.

En sciences de l'Univers, la caractérisation en laboratoire d'édifices moléculaires pertinents pour les atmosphères terrestre, planétaire, et les milieux astrophysiques font du GDR EMIE un acteur privilégié qui a ici vocation à affirmer et renforcer ses liens avec les communautés concernées. Plusieurs équipes et laboratoires nous ont déjà rejoints.

En sciences de la vie, le savoir-faire développé par notre réseau, notamment en sciences analytiques, a permis de tisser des liens forts avec des équipes à l'interface de la chimie et de la biologie, qu'il s'agira de rendre plus fructueux en nouant de nouvelles collaborations avec des acteurs clés de ces disciplines.

# GDR GRAPHENE AND CO

La mission du groupement de recherche Graphene and co est de rassembler la communauté française travaillant sur les matériaux unidimensionnels (nanotubes), bidimensionnels (graphène, dichlorogénures de métaux de transition, nitrure de bore, etc.) et leurs hétérostructures. Cette démarche repose sur le lien structurel étroit existant entre toutes ces nanostructures. Toutes les propriétés physiques et chimiques et leurs applications entrent dans le champ de ce groupement de recherche.



## 6 thématiques

---

Synthèse, procédures de caractérisation structurale et modélisation de la croissance

---

Chimie, toxicité et problèmes biologiques

---

Photonique et spinvalleytronique

---

Nanomécanique, nanofluidique, membranes

---

Propriétés émergentes des matériaux 2D et de leurs hétérostructures

---

Du matériau aux dispositifs fonctionnels : applications et valorisation

---

**200** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **50** laboratoires

---

**Coordinateur** : Christophe Voisin (LPA) | [christophe.voisin@lpa.ens.fr](mailto:christophe.voisin@lpa.ens.fr)

**Coordinateurs adjoints** : Johann Coraux (NEEL) et Annick Loiseau (LEM)



# PROSPECTIVES

Le domaine de recherche couvert par le GDR Graphene and co rassemble les matériaux 2D lamellaires et leurs nanotubes (1D) : le graphène, le nitrure de bore et les dichalcogénures métalliques, le phosphorène, etc. Le domaine s'est considérablement enrichi avec l'avènement de nouveaux matériaux. La littérature foisonne d'études d'effets physiques, chimiques et biologiques inédits, allant jusqu'à l'exploration de dispositifs prototypes. Le passage à l'échelon industriel est l'objet d'une attention particulière, au cœur des soutiens financiers.

## SCIENCE DES MATÉRIAUX

L'exploration de la carte des matériaux 2D est en cours, à un rythme élevé. Elle est la clé de la réalisation de fonctions avancées. Elle inclut la synthèse par voies ascendantes, à l'interface avec la chimie. Elle s'étend à des matériaux plus avancés interfaçant les mondes 2D et 3D, et les hétérostructures 2D/2D ou 2D/1D. Un enjeu considérable reste la croissance sur de grandes surfaces pour les applications industrielles, ou, pour les nanotubes, la croissance sélective.

## OPTOÉLECTRONIQUE

Les concepts de l'optoélectronique sont largement revisités dans la géométrie 2D. Celle-ci apporte une grande versatilité de contrôle des fonctions, notamment par des champs électriques locaux. Elle permet aussi de réaliser une optoélectronique flexible compatible avec l'internet des objets et de la biologie. Par ailleurs, les effets de dimensionnalité ont de profondes conséquences physiques : des degrés de liberté quantiques peuvent être manipulés de façon originale dans ces matériaux — ce sont notamment les domaines très actifs de la vallétronique et de la photonique quantique.

## MAGNÉTISME ET SPINTRONIQUE

On assiste au développement de dispositifs 2D inspirés d'architectures classiques, notamment les vannes de spin et l'arrivée de concepts de la « spintronique », liés à la stabilisation et à la manipulation de textures d'aimantation non conventionnelles en 2D. On notera aussi l'émergence de matériaux 2D intrinsèquement magnétiques.

## TECHNOLOGIES VERTES

Naturellement, l'utilisation de matériaux 2D est associée à de très faibles quantités de matière. Il s'agit là d'une particularité à fort potentiel de valorisation. L'enjeu n'est ici plus seulement de réaliser des fonctions inédites, mais de réaliser des fonctions existantes, en diminuant de plusieurs ordres de grandeur l'utilisation de matières premières stratégiques.

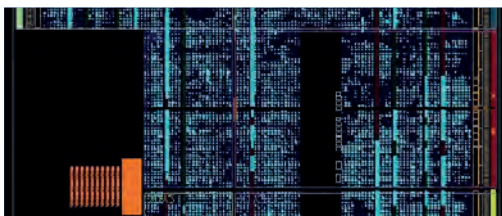
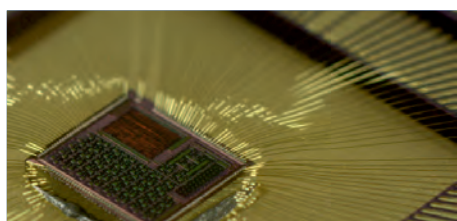
## APPLICATIONS BIOMÉDICALES ET ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX

De par leur taille et leur géométrie, les matériaux 2D et 1D sont très prometteurs pour de nouvelles approches thérapeutiques. Ils peuvent être utilisés pour délivrer des molécules thérapeutiques de façon optimale ou être eux-mêmes l'agent thérapeutique en utilisant des propriétés physico-chimiques activables à distance (photothermothérapie, etc.). Par ailleurs, la bio-compatibilité de ces matériaux (très différente aux échelles macro et nanométriques) et leur dissémination dans l'environnement sont un enjeu majeur.

# GDR

# IMPLÉMENTATIONS MATÉRIELLES DU CALCUL NATUREL (BIOCOMP)

La mission du groupement de recherche Implémentations matérielles du calcul naturel (BioComp) est de rassembler et de structurer la communauté française travaillant sur la réalisation de systèmes matériels bio-inspirés. Le GDR BioComp vise à la fois à comprendre les mécanismes à l'œuvre dans les systèmes biologiques afin de créer de nouveaux types de puces basées sur le calcul naturel, et à construire des architectures matérielles hybrides afin de mieux comprendre la biologie.



## 6 thématiques

---

Systèmes neuromorphiques

---

Intelligence artificielle

---

Calcul bio-inspiré, neurosciences et psychologie cognitive

---

Traitement de l'information inspiré de la biologie

---

Matériaux, physique et électronique pour le calcul bio et neuro-inspiré

---

Robotique neuro-inspirée

---

**160** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **60** laboratoires

---

**Coordinateur :** Sylvain Saïghi (IMS) | [sylvain.saighi@ims-bordeaux.fr](mailto:sylvain.saighi@ims-bordeaux.fr)

**Coordinateur adjoint :** Benoit Miramond (LEAT) | [benoit.miramond@unice.fr](mailto:benoit.miramond@unice.fr)

# PROSPECTIVES

Les enjeux des systèmes électroniques inspirés du cerveau sont nombreux. Ils sont :

- **Environnementaux**

L'industrie des technologies de l'information consomme déjà plus d'électricité que l'Inde du fait de l'utilisation massive des centres de données, en particulier pour y faire tourner des algorithmes d'intelligence artificielle (IA). Les systèmes neuromorphiques peuvent réduire drastiquement cette consommation d'électricité, vers une IA verte.

- **Economiques**

Les applications des systèmes de calcul bio-inspirés peuvent être divisées en deux classes. La première est d'accélérer et miniaturiser l'IA pour les véhicules autonomes, la robotique, les prothèses, les réseaux connectés, etc. La deuxième est de fournir des super-calculateurs pour permettre aux neuroscientifiques de faire tourner des modèles du cerveau.

- **Sociétaux**

Le développement futur de l'IA nécessite de changer le matériel sur lequel on fait tourner ces algorithmes. La France est en pointe de la recherche fondamentale dans ce domaine ; il faut soutenir cet effort et faire en sorte que cette recherche mène à des produits développés et commercialisés en France.

- **Ethiques**

Le développement de cette nouvelle électronique modifiera notre interaction avec les machines et soulèvera de nombreuses questions éthiques. Depuis les usages de ces technologies, la protection des données, les mutations sociétales jusqu'à la place juridique de ces systèmes artificiels, de nombreuses questions doivent être abordées en amont.

- **Scientifiques**

Progresser vers la réalisation de systèmes de calcul matériels bio-inspirés permettra des avancées scientifiques dans tous les domaines concernés - neurosciences, mathématiques, informatique et architecture des systèmes de traitement de l'information, microélectronique, nanotechnologies et physique.

Pour ceci, de nombreux défis doivent être relevés :

- **Interdisciplinarité**

Il s'agit d'un domaine de recherche naissant, qui pour aboutir doit réunir des chercheurs de la physique aux neurosciences en passant par la micro-électronique et l'informatique.

- **Implémentations matérielles**

Il faut réaliser des nanoneurones et des nanosynapses avec une faible consommation énergétique, par dizaines de millions (10<sup>11</sup> neurones dans le cerveau), modéliser ces composants, les connecter densément (10<sup>4</sup> synapses par neurone biologique), et développer des algorithmes adaptés (défi : apprentissage non-supervisé).

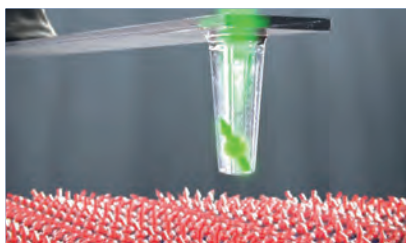
- **Modèles**

Les systèmes IA embarqués nécessitent de nouveaux modèles, moins demandeurs en ressources, capables d'apprendre avec très peu de données, tolérants aux imperfections des composants, robustes aux interférences catastrophiques, et capables de réaliser de multiples fonctions cognitives au-delà de la reconnaissance de motifs (fusion multisensorielle, circuits attentionnels, prédictifs).

# GDR

## INGÉNIERIE QUANTIQUE, DES ASPECTS FONDAMENTAUX AUX APPLICATIONS (IQFA)

La mission du groupement de recherche Ingénierie quantique, des aspects fondamentaux aux applications (IQFA) est de rassembler la communauté française dont les activités de recherche relèvent des technologies quantiques. L'ensemble des supports à l'information quantique sont concernés, que celle-ci soit communiquée, traitée, simulée ou manipulée, individuellement ou collectivement, à l'aide de photons, d'atomes, d'ions piégés, d'électrons, de supraconducteurs, etc.



### 5 thématiques

---

Aspects quantiques fondamentaux

---

Communication quantique et cryptographie

---

Ordinateur quantique, calculs et algorithmes

---

Simulation quantique

---

Métrieologie quantique et capteurs

---

**400** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **50** laboratoires

---

Coordinateur : Sébastien Tanzilli (INPHYNI) | [sebastien.tanzilli@inphyni.cnrs.fr](mailto:sebastien.tanzilli@inphyni.cnrs.fr)

# PROSPECTIVES

## ORGANISATION DU COLLOQUE IQFA'X AU SIÈGE DU CNRS À PARIS

Souhaitant faire du colloque « 10<sup>e</sup> anniversaire » d'IQFA un événement marquant pour la communauté des technologies quantiques, le comité IQFA a sollicité l'Institut de physique (INP) afin d'organiser IQFA'X au siège du CNRS en novembre 2019. Afin d'en assurer une visibilité accrue auprès des équipes de recherche venant de la plupart des instituts du CNRS, la gestion sera en partie assurée par l'équipe communication de l'INP, notamment en matière de diffusion de l'information auprès des laboratoires.

IQFA'X sera ouvert à toutes les thématiques qui relèvent du GDR, avec, comme à l'accoutumée, des interventions de type tutoriel et un appel à contributions de type poster et sélection d'une quinzaine d'entre elles pour passage à l'oral, méthodologie ayant déjà fait ses preuves, notamment auprès des jeunes chercheurs et chercheuses.

## RENFORCER L'INTERDISCIPLINARITÉ

L'interdisciplinarité a toujours été l'une des missions principales du comité scientifique IQFA. Il existe aujourd'hui un fort intérêt pour l'organisation de colloques hybrides entre IQFA et les GDR Informatique mathématique (IM) et Physique quantique mésoscopique (MESO). Ces colloques hybrides devraient cibler d'une part les aspects ingénierie quantique développés à partir de systèmes issus de la matière condensée, et d'autre part sur les algorithmes

quantiques issus des recherches en informatique et mathématiques théoriques. Les mises en perspectives expérimentales seront bien entendu considérées.

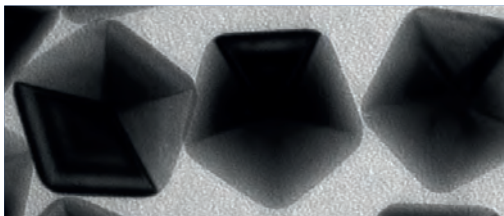
## ACTIONS DE FORMATION EN INGÉNIERIE QUANTIQUE

Compte tenu de la pluridisciplinarité de la recherche qui relève des technologies quantiques (physique, mathématiques, chimie, théorie de l'information, matière condensée, matériaux, nanosciences, marketing, etc.), les grands organismes de recherche français, tels que le CNRS et les établissements d'enseignement supérieur, doivent aujourd'hui adapter leur offre de formation afin de proposer des parcours qui permettront de former les futures générations « d'ingénieurs quantiques ». Ce type de formation se doit d'être véritablement transdisciplinaire. Ainsi, le GDR IQFA, avec l'aide de l'Institut de physique du CNRS, compte s'impliquer fortement dans la mise en place d'une offre de formation, pouvant prendre la forme d'une école thématique du CNRS ou d'une action nationale de formation. Les objectifs sont doubles. D'une part, il s'agit de répondre à un besoin grandissant dans les laboratoires CNRS, à la fois auprès des chercheurs et des ingénieurs. D'autre part, il s'agit de répondre efficacement et en amont à la vision de l'Europe en ce qui concerne la formation des futures générations « d'ingénieurs et de chercheurs quantiques ».

# GDR

## L'OR NANOMÉTRIQUE (OR-NANO)

La mission du groupement de recherche L'or nanométrique (Or-nano) est d'animer un réseau de scientifiques dont les recherches concernent les nanoparticules d'or, les films d'or nanométriques ou les nanoparticules d'alliage contenant de l'or. L'or joue un rôle particulier à l'échelle nano du fait de son caractère métallique, de ses propriétés optiques, de sa réactivité et de sa biocompatibilité. Le GDR Or-nano permet des échanges très pluridisciplinaires portant sur la nanophotonique, la plasmonique, la nanoélectronique, la catalyse, la synthèse chimique, la fonctionnalisation chimique, les méthodes de simulation et les thérapies nouvelles.



## 6 thématiques

---

Plasmonique avancée et nanoélectronique

---

Nanoparticules d'or pour la santé : radio-photothérapie et théranostique

---

Nanoparticules d'or pour l'environnement : couplage plasmonique-catalyse

---

Théorie et modélisations numériques

---

Synthèse, fonctionnalisation et réactivité

---

Enjeux sociétaux divers : vulgarisation, dissémination des connaissances scientifiques, éthique scientifique

---

**200** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **57** laboratoires

---

**Coordinateur :** Olivier Pluchery (INSP) | [olivier.pluchery@insp.jussieu.fr](mailto:olivier.pluchery@insp.jussieu.fr)

**Coordinateurs adjoints :** Catherine Louis (LRS), Hazar Guesmi (ICGM), Julien Burgin (LOMA), Nathalie Tarrat (CEMES), Magali Gary-Bobo (IBMM) et Fabienne Testard (NIMBE)

# PROSPECTIVES

Le positionnement thématique du GDR Or-Nano est particulier à cause du statut très spécifique des nanoparticules d'or qui relèvent de champs disciplinaires variés tels que la nanophotonique fondamentale, la plasmonique, la réactivité, la fonctionnalisation biochimique, les nouveaux procédés de synthèse chimique, les thérapies avancées, les simulations numériques, etc.

## LA PHYSIQUE DES ÉLECTRONS CHAUDS

Les électrons chauds sont des électrons excités fortement au-dessus du niveau de Fermi : soit via un STM, soit par une onde optique ou des faisceaux d'électrons, etc. Les électrons chauds correspondent à des états excités dont la durée de vie est finie, de l'ordre de quelques dizaines de femtosecondes. Ils sont très minoritaires devant les électrons non perturbés et se thermalisent rapidement. Ils sont donc difficiles à détecter. La plasmonique est une voie qui permet d'amplifier l'effet des électrons chauds et qui ouvre un nouveau champ de la physique où se conjuguent optique et physique de la matière condensée. Les nanosystèmes hybrides (métal/semi-conducteur) impliquant des nanoparticules d'or présentent également un grand intérêt à l'heure actuelle puisqu'ils sont à l'origine de la « plexitonique » qui mêle plasmons et excitons. L'étude et l'utilisation de leurs propriétés optiques n'en sont qu'à leurs débuts, et ce nouveau type d'objet présente également des liens forts avec les électrons chauds évoqués précédemment, puisqu'ils permettent d'étudier l'injection d'électrons chauds du métal (excités par la résonance de plasmon) dans la sous-partie semi-conductrice du nanosystème.

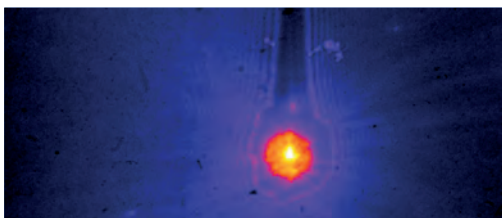
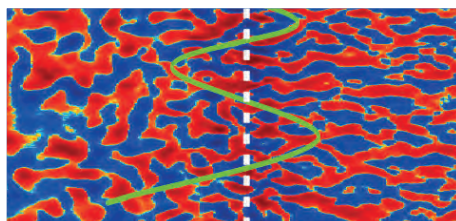
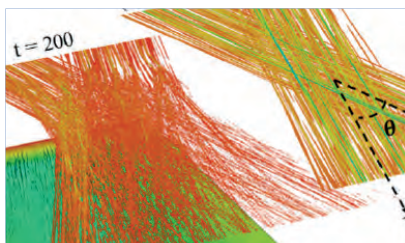
## PLASMONIQUE, NANOTHERMIQUE ET PLASMONIQUE QUANTIQUE

La plasmonique permet de manipuler le champ proche optique en jouant sur des effets d'antennes et de concentrer le champ sur des dimensions bien inférieures à la longueur d'onde. Les nanoparticules d'or sont également de plus en plus utilisées comme nanosources de chaleur contrôlables optiquement. Elles permettent notamment l'étude des phénomènes thermiques aux petites échelles. La plasmonique quantique quant à elle se situe très largement dans la continuité des travaux réalisés jusqu'à présent en plasmonique non linéaire mais permet d'envisager une optique quantique relativement intégrée à long terme. Du point de vue de la plasmonique non linéaire classique, les efforts se portent sur l'optique non linéaire multipolaire et ses applications, notamment pour le sensing.

Par ailleurs, les liens de laboratoires avec l'entrepreneuriat sont en train de se tisser progressivement, notamment du fait de l'aspiration de nombreux docteurs à créer des start-ups, soutenus de plus en plus souvent par des chercheurs permanents. En 2017, Or-nano a côtoyé une dizaine de start-ups telles que Cybernano, SmartForce, Ugiel, WatchLive, NanoLike, Daumet, Bichromatics dans des domaines très variés où chaque fois l'or nanométrique joue un rôle clé. C'est un renouveau très profond des partenariats possibles public-privé qui permettra certainement de contourner la frilosité des grandes entreprises à établir un dialogue avec le monde académique. Il faut accompagner encore davantage cette aspiration.

# LASERS ÉNERGÉTIQUES ET INTENSES ET PLASMAS SOUS CONDITIONS EXTRÊMES (LEPICE HDE)

La mission du groupement de recherche Lasers énergétiques et intenses et plasmas sous conditions extrêmes (LEPICE HDE) est de rassembler la communauté française dont les activités de recherche sont liées aux hautes densités d'énergie. La multiplication des échanges permet de concevoir de nouveaux diagnostics ou encore de partager des techniques numériques autour de thématiques relatives aux lasers énergétiques ou intenses, et aux plasmas sous conditions extrêmes.



## 7 thématiques

Physique des chocs générés par laser, équations d'état sous conditions extrêmes, planétologie, géophysique

Hydrodynamique et transport dans le contexte de la fusion par confinement inertiel (FCI)

Interaction laser-plasma et mécanismes de l'absorption laser

Physique atomique des plasmas denses

Astrophysique de laboratoire

Sources secondaires de rayonnement et de particules accélérées par laser pour leurs applications dans le contexte de la haute densité d'énergie (HDE)

Avenir et ouverture

**150** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **16** laboratoires

**Coordinateur :** Stefan Hüller (CPHT) | [stefan.hueller@cpht.polytechnique.fr](mailto:stefan.hueller@cpht.polytechnique.fr)

**Coordinateurs adjoints :** Sylvie Depierreux (CEA-DAM) et Patrick Renaudin (CEA-DAM)



# PROSPECTIVES

Les thématiques du GDR Lasers énergétiques et intenses, plasmas sous conditions extrêmes (LEPICE HDE) couvrent assez largement la physique accessible avec des lasers énergétiques dans le domaine des hautes densités d'énergie (HDE) comme la fusion thermonucléaire contrôlée par confinement inertiel (FCI), l'astrophysique et de la géophysique.

La recherche sur les états extrêmes de la matière est un sujet fondamental important en raison de ses implications en physique des matériaux, en planétologie, en géophysique, et en astrophysique. Les lasers énergétiques permettent aujourd'hui d'accéder à des pressions qui portent des matériaux dans des états encore inconnus. Il est alors possible d'aller au-delà des compréhensions obtenues à partir des méthodes classiques. L'énergie disponible sur ces installations permet de recréer en laboratoire les conditions extrêmes rencontrées dans l'Univers (supernovae, disques d'accrétion, jets, etc.) et de réaliser des études dynamiques. Les études sur l'hydrodynamique, à la fois expérimentales et théoriques-numériques et réunissant plusieurs groupes dans ce GDR, forment un élément clé dans ce domaine des plasmas sous conditions extrêmes.

Dans le contexte des recherches sur la fusion par laser, FCI, ainsi que dans le contexte des applications en utilisant des lasers (ultra-) intenses, l'interaction laser-plasma est un élément clé pour comprendre le couplage entre des faisceaux laser et une cible, pour pouvoir déterminer l'absorption, la diffusion et la répartition de l'énergie. Les compétences réunies dans ce GDR permettent d'avancer

sur des sujets actuels comme le transfert d'énergie entre faisceaux, l'amplification des impulsions laser.

Les sources de lumière secondaires dues au mouvement collectif d'électrons en champ laser ont un grand potentiel d'application pour la HDE ; les sources d'accélération de protons et d'électrons par laser sont aujourd'hui incontournables pour les expériences en HDE.

La physique atomique des plasmas denses joue un rôle important pour plusieurs axes définis, notamment dans le transport radiatif et son impact sur l'hydrodynamique du plasma. Les études d'opacités de plasmas fortement corrélées portent sur l'évolution de phénomènes comme les instabilités de Rayleigh-Taylor, chocs radiatifs.

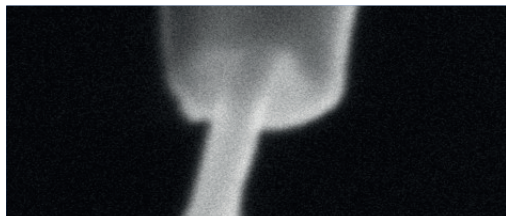
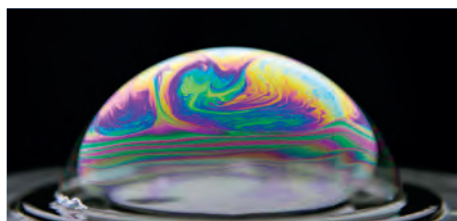
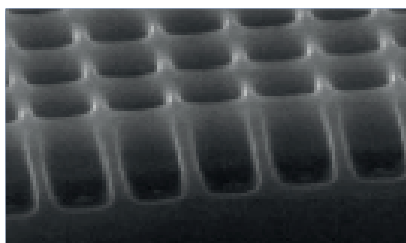
A l'interface entre la physique nucléaire, la physique atomique et la physique des plasmas se trouvent les activités sur les excitations nucléaires par laser, avec l'objectif d'étudier les modifications des états nucléaires dans un milieu ionisé dense et chaud.

Certaines installations bientôt disponibles en France et dans le monde permettront dans le futur d'atteindre des intensités laser qui exposeront le vide et le milieu (plasma !) à des champs extrêmes. Les phénomènes QED s'enchaîneront. Plusieurs groupes de réflexion s'occupent de prévoir la mesure de ces événements, encore très peu probables (mais possibles) à des intensités prochainement accessibles sur les installations comme Apollon.

# GDR

## LIQUIDES AUX INTERFACES (LAI)

La mission du groupement de recherche Liquides aux interfaces (LAI) est de rassembler la communauté française dont les activités de recherche portent sur les propriétés physiques des liquides aux interfaces. Le GDR LAI promeut les échanges entre des équipes utilisant différentes approches expérimentales, différents outils numériques ou concepts théoriques, afin d'améliorer la compréhension des propriétés des liquides aux interfaces.



## 7 thématiques

---

Liquides nanoconfinés

---

Transport dans les milieux poreux

---

Conditions aux limites hydrodynamiques

---

Mouillage/nanomouillage

---

Couplage élastohydrodynamique et forces de surface émergentes

---

Physico-chimie des interfaces dans les mousses

---

Comportements et propriétés des polymères aux interfaces et surfaces : mouillage, démouillage, écoulement élongationnel, fluctuations thermiques, etc.

---

**100** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **30** laboratoires

---

**Coordinateur :** Abdelhamid Maali (LOMA) | [abdelhamid.maali@u-bordeaux.fr](mailto:abdelhamid.maali@u-bordeaux.fr)

**Coordinateurs adjoints :** Lionel Bureau (LIPhy) et Thomas Salez (LOMA)

# PROSPECTIVES

En physique de la matière molle (liquide ou vitreuse), il existe une zone encore largement inexplorée entre la physique microscopique, gouvernée par les effets quantiques et les interactions orbitales, et celle, plus macroscopique, des milieux dits continus, décrite par les théories de l'hydrodynamique et de l'élasticité par exemple. Compte-tenu des progrès en nanofabrication (lithographie, auto-assemblage, etc.) et nano-observation (AFM, SFA, spectroscopies non-linéaires, etc.), il est maintenant possible d'accéder expérimentalement à ces échelles de taille intermédiaires, où les fluctuations thermiques et les forces intermoléculaires dominent largement. A ces échelles, il apparaît une phénoménologie riche d'effets nouveaux (parfois quantiques !), qui marque l'émergence d'une physique mésoscopique de la matière amorphe.

Citons à titre d'exemples l'écoulement dans des nanotubes de carbones et leur conductance hydraulique gigantesque/anormale, le glissement fort de polymères sur des substrats assemblés en mono-couches moléculaires,

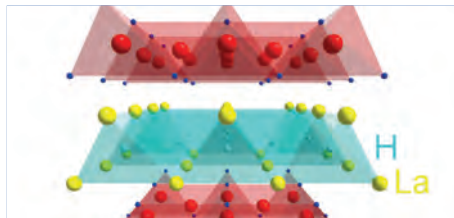
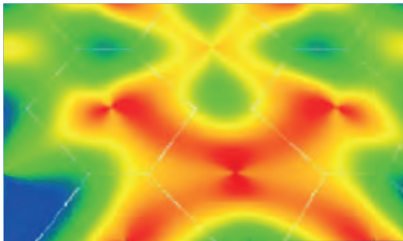
la friction atomique entre feuillets de carbone, le nanomouillage du graphène ou le ménisque capillaire autour d'un nanotube de carbone, l'émergence de forces de portance élastohydrodynamiques en confinement fort, les anomalies/décalages de transitions de phases, ou vitreuse(s), aux interfaces, etc. Les exemples se multiplient récemment, dans le cadre de problématiques scientifiques allant de la conversion d'énergie à la biolubrification, et ont tous en commun des observations anormales dues à la petitesse des systèmes étudiées.

En résumé, la matière molle du XXI<sup>e</sup> siècle pourrait bien se rapprocher de la matière condensée dite « dure », plus traditionnelle, et de la physique mésoscopique, dans ses approches et concepts. Ainsi, le GDR Liquides aux interfaces, outre un renouvellement possible de son comité d'organisation et une internationalisation (IRN) de ses participants, pourrait se réorienter thématiquement vers l'étude de la matière molle mésoscopique, ultraconfinée.

# GDR

# MATÉRIAUX, ÉTATS ÉLECTRONIQUES, INTERACTIONS ET COUPLAGES NON-CONVENTIONNELS (MEETICC)

La mission du groupement de recherche Matériaux, états électroniques, interactions et couplages non-conventionnels (MEETICC) est de rassembler la communauté française de scientifiques expérimentateurs et théoriciens, chimistes et physiciens, qui étudie les matériaux présentant des états électroniques et des couplages non-conventionnels. Contrôlées, les propriétés remarquables de systèmes tels que les multiferroïques ou les isolants topologiques pourraient conduire à des ruptures dans le domaine de l'énergie et des technologies de l'information.



## 3 thématiques

Propriétés remarquables dans les systèmes à fortes corrélations (magnétisme, supraconductivité)

Etats électroniques non-conventionnels dans les phases topologiques et les systèmes confinés

Matériaux et propriétés électroniques non-conventionnelles

**350** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **45** laboratoires

Coordinateurs : Pascale Foury-Leylekian (LPS) et Etienne Janod (IMN) | [gdr.meeticc@u-psud.fr](mailto:gdr.meeticc@u-psud.fr)

# PROSPECTIVES

Les perspectives scientifiques du GDR MEETICC sont présentées selon ses trois axes de recherche.

## AXE « SYSTÈMES À FORTES CORRÉLATIONS »

Des avancées récentes impliquent les interactions chirales (Dzyaloshinskii-Moriya), à l'origine de mésostructures magnétiques originales (skyrmions, hopfions). En ce qui concerne la supraconductivité, une forte activité se développe autour des pnictures, chalcogénures et siliciures de fer (découverts en France). La compréhension de leur diagramme de phase, mêlant phases exotiques et supraconductivité non-conventionnelle, pourrait permettre l'identification des mécanismes de supraconductivité. Notons l'émergence de thèmes liés aux états électroniques de surface, hors équilibre, ou associant corrélations électroniques et couplage spin-orbite comme dans les iridates.

## AXE « ÉTATS ÉLECTRONIQUES NON-CONVENTIONNELS DES PHASES TOPOLOGIQUES »

Nous entrevoyons des développements concernant les propriétés topologiques des systèmes corrélés (isolants de Mott ; supra à fermions lourds), ou des semi-métaux de Weyl. Par ailleurs, les gaz d'électrons 2D métalliques

voire supraconducteurs ouvrent la voie à une électronique émergente et au calcul quantique topologiquement protégé (quasiparticules de Majorana).

## AXE « MATÉRIAUX ÉMERGENTS »

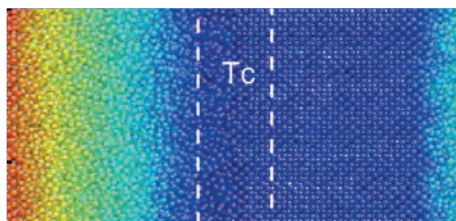
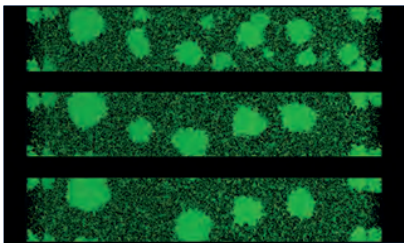
On peut relever le développement des oxyhydrures induisant des états de valence atypiques ( $\text{Ni}^+$ ,  $\text{Ru}^{2+}$ , etc.) pouvant conduire à de nouvelles phases, et la prédiction globale de propriétés topologiques, basées sur le groupe d'espace et la théorie des bandes. Enfin, le contrôle des propriétés aux interfaces (multiferroïcité, conversion courant de spin/charge) émerge fortement, et pourrait conduire à de nouvelles hétérostructures, associant isolants topologiques ou ferromagnétisme à propriétés physiques inédites.

Nos recherches bénéficieront des progrès impressionnants des techniques expérimentales utilisant des conditions extrêmes de pression, de température et de champ électrique/magnétique, donnant accès à des régions inexplorées des diagrammes de phases. Soulignons l'essor considérable des techniques ultrarapides (femtoseconde voire attoseconde ; sources XFEL européennes, sources HHD, etc.), donnant accès à de nouveaux états exotiques hors équilibre et permettant de découpler les interactions simultanément à l'oeuvre dans nos systèmes.

# GDR

## MODÉLISATION DES MATÉRIAUX (MODMAT)

La mission du groupement de recherche Modélisation des matériaux (ModMat) est de fédérer la communauté française dont l'objet d'étude porte sur la modélisation de matériaux réalistes, c'est-à-dire dans des conditions proches des observations expérimentales, voire des conditions et des propriétés d'usage. Le GDR ModMat rassemble les acteurs d'une recherche multi-échelle, à la frontière de la physique et de la chimie, et tournée vers les applications.



## 8 thématiques

Méthodes de modélisation atomistique (structure électronique, méthodes statistiques)

Méthodes multi-échelles : de l'atome aux codes industriels

Défauts dans les solides : étendus (plasticité) et ponctuels (diffusion)

Dynamique et transformations de phases

Nucléation-croissance et organisation

Matériaux pour l'énergie

Matériaux de basse dimensionnalité : surfaces, interfaces, agrégats

Matériaux désordonnés : amorphes, verres, milieux désordonnés

**330** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **70** laboratoires

**Coordinateur** : Guy Tréglia (CINAM) | [treglia@cinam.univ-mrs.fr](mailto:treglia@cinam.univ-mrs.fr)

**Coordinatrice adjointe** : Christine Goyhenex (IPCMS) | [christine.goyhenex@ipcms.unistra.fr](mailto:christine.goyhenex@ipcms.unistra.fr)

# PROSPECTIVES

Tout au long de ses six années d'existence, le GDR ModMat a vu émerger et se développer, parallèlement au partage de préoccupations thématiques, de méthodes théoriques et d'outils numériques, un fil rouge qui se souciait de la validation de ces approches et de leur transférabilité à des préoccupations applicatives, en lien avec l'implication croissante au GDR de partenaires issus du milieu de la recherche industrielle.

La simulation de matériaux technologiques complexes nécessite une approche à la fois multi-modèles (physique, chimie, mécanique, etc.) et multi-échelle pour calculer les propriétés ou le comportement d'un système à un niveau donné en utilisant des informations ou modèles issus de différents niveaux.

Ainsi, si l'on veut comprendre les comportements de matériaux à l'échelle macroscopique et prédire l'évolution de leurs propriétés, il est fondamental de partir de données à l'échelle microscopique et de remonter des informations aux échelles mésoscopique et macroscopique. Il faut donc maîtriser la description des systèmes aux différentes échelles impliquées en identifiant les paramètres pertinents, et les raccorder en ne tenant pas compte des phénomènes physiques plusieurs fois.

Ceci demande d'engager une réflexion approfondie sur la façon de relier (couplage ou chaînage) les différents modules relatifs à des domaines spatiaux temporels ou thématiques

différents, en s'assurant de l'absence de redondance ou de manquement dans la description des phénomènes visés et de leur cohérence globale.

La validation de ces approches globales repose à la fois sur une confrontation systématique des résultats de simulation aux données expérimentales à chaque échelle concernée, et sur une validation intégrale par la détermination des erreurs/incertitudes globales dues aux paramètres d'entrée, aux modèles utilisés, à l'implémentation numérique, et à la précision des données de référence.

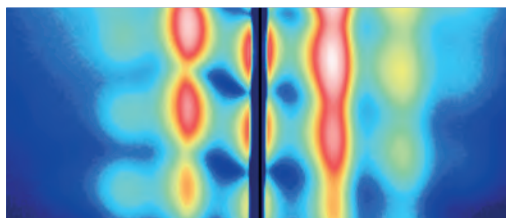
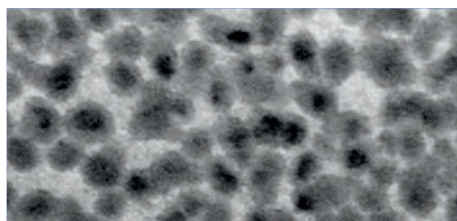
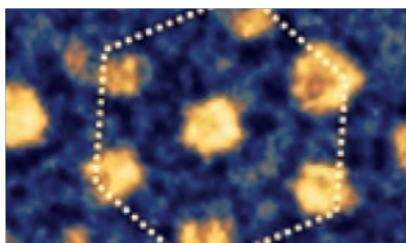
Seule une véritable réflexion sur la quantification et la propagation de ces erreurs et leur détermination permettra d'améliorer les outils de simulations, au travers de l'identification des paramètres et des couplages les plus importants, des données et modèles à préciser et des données expérimentales manquantes.

Un enjeu essentiel des années à venir pour la modélisation de matériaux réalistes est donc de faire se rencontrer et collaborer des membres des communautés "sciences des matériaux" et "quantification d'incertitudes" afin de leur permettre de partager l'état d'avancement de leur réflexion sur ces problèmes, et de mettre en commun leurs savoir-faire respectifs, seule façon de lever les derniers verrous scientifiques qui empêchaient jusqu'ici de faire, de façon efficace et fiable, le (grand) saut « de l'atome aux codes industriels ».

# GDR

# NANOCRISTAUX DANS LES DIÉLECTRIQUES POUR L'ÉLECTRONIQUE ET POUR L'OPTIQUE (NACRE)

La mission du groupement de recherche Nanocristaux dans les diélectriques pour l'électronique et pour l'optique (NACRE) est de rassembler la communauté française dont les activités de recherche concernent les nanomatériaux, dans le but de favoriser l'émergence de nouvelles collaborations transdisciplinaires au niveau national. Le GDR NACRE se consacre particulièrement au développement de l'axe « nanomatériau - nanophysique - nanotechnologie », commun aux communautés de l'optique et de l'électronique.



## 4 thématiques

---

Dopage des nanocristaux semi-conducteurs

---

Couplage nanocristaux/nano-objets (ions, molécules, nanoparticules...)

---

Auto-organisation des nanocristaux dans des diélectriques

---

Nanomatériaux hybrides fonctionnels

---

**200** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **25** laboratoires

---

**Coordinatrice :** Caroline Bonafos (CEMES) | [caroline.bonafos@cemes.fr](mailto:caroline.bonafos@cemes.fr)

**Coordinateur adjoint :** Fabrice Gourbilleau (CIMAP) | [fabrice.gourbilleau@ensicaen.fr](mailto:fabrice.gourbilleau@ensicaen.fr)



# PROSPECTIVES

## DOPAGE DES NANOCRISTAUX

Fortement dopés, les nanocristaux (NCs) semi-conducteurs peuvent être le siège de résonances de plasmon de surface tout comme les nanoparticules métalliques. Dans ces objets, la fréquence de résonance est réglable en fonction de la concentration de dopants, contrairement aux métaux pour lesquels la densité de porteurs libres est constante. Aux concentrations de dopage usuelles (1 % at.), elle peut atteindre des valeurs dans la gamme MIR et approcher le domaine du proche infrarouge voire du visible pour des concentrations de dopage très élevées (>10 % at.). Cette plasmonique accordable est un domaine en pleine croissance même si en France, ce sujet reste peu exploré. Dans ce contexte, un défi consistera à atteindre des résonances de plasmon de surface dans l'infrarouge-infrarouge moyen (IR-MIR) en utilisant des matériaux non toxiques, comme par exemple les NCs de silicium hyperdopés. L'objectif d'un plasmon à plus haute énergie (>0.3 eV) semble difficile à atteindre mais reste un beau défi.

## AUTO-ORGANISATION DE NANOCRISTAUX

Dans ce domaine, le défi consiste à obtenir par auto-organisation de NCs, des matériaux nouveaux qui présentent des propriétés physiques bien distinctes des objets uniques, par exemple, présentant une nouvelle structure de bandes. La maîtrise de la localisation spatiale reste un point clé si

l'on veut intégrer les NCs de manière déterministe dans des dispositifs ultimes en nanoélectronique (zone active de mémoires résistives) ou en électronique quantique (spin qubits).

## COUPLAGE NANOCRISTAUX/NANO-OBJETS ET NANOMATÉRIAUX HYBRIDES FONCTIONNELS

Un sujet « chaud » dans ces thématiques concerne l'interaction entre nanostructures plasmoniques et matériaux 2D (graphène, dichalcogénures de métaux de transition). Un enjeu dans ce domaine reste la compréhension du couplage électronique (dopage, hybridation), de la nature de l'interface 2D-0D et des propriétés d'injections de charges dans ces hétérostructures.

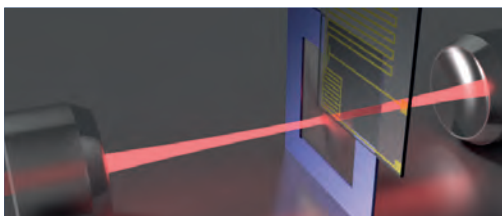
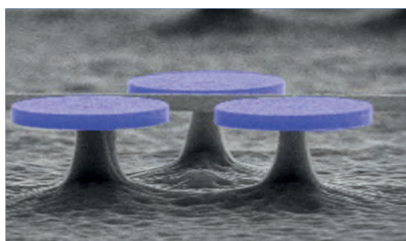
L'association de ces deux nanomatériaux dans une même structure hybride devrait permettre :

- l'étude fondamentale du couplage entre les plasmons de surface et les excitons confinés en 2D afin d'exalter, supprimer ou filtrer l'émission de lumière du semi-conducteur *via* les résonances de plasmon.
- de nouvelles applications : l'exaltation de la conversion lumière/courant pouvant donner lieu à des nouvelles architectures pour la photodétection, les bio-capteurs hyper sensibles et les transistors à effet de champ à contrôle plasmonique.

# GDR

# OPTOMÉCANIQUE ET NANOMÉCANIQUE QUANTIQUES (MECAQ)

La mission du groupement de recherche Optomécanique et nanomécanique quantiques (MecaQ) est de rassembler la communauté française dont les activités de recherche sont liées à la nanomécanique et à l'optomécanique, notamment dans le régime où les fluctuations quantiques jouent un rôle important. La métrologie, les mesures ultrasensibles ou l'information quantique font partie des sujets de recherche du GDR MecaQ.



## 8 thématiques

---

Optomécanique

---

Photonique et phononique

---

Nanomécanique

---

Capteurs ultra-sensibles

---

Information quantique

---

Mesures limitées par le bruit quantique

---

Métrologie

---

Optique quantique

---

**40** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **15** laboratoires

---

**Coordinateur :** Pierre-François Cohadon (LKB) | [cohadon@lkb.upmc.fr](mailto:cohadon@lkb.upmc.fr)

**Coordinateurs adjoints :** Olivier Arcizet (NEEL), Anthony Ayari (ILM), Ivan Favero (MPQ), Daniel Lanzillotti-Kimura (C2N), Fabio Pistolesi (LOMA), Pierre Verlot (ILM)

# PROSPECTIVES

Les années 2010 ont été marquées par l'émergence de systèmes mécaniques « quantiques », qui désignent littéralement des résonateurs mécaniques d'une sensibilité dont la description de la dynamique nécessite un traitement quantique.

Le GDR Optomécanique et nanomécanique quantiques fédère les activités autour de ces thématiques de la mesure et du contrôle quantique à l'échelle macroscopique, avec de nouveaux enjeux et défis extrêmement ambitieux.

## ENJEUX ET DÉFIS TECHNOLOGIQUES.

Les enjeux technologiques principaux du développement des systèmes mécaniques quantiques accompagnent ceux des technologies quantiques émergentes et s'inscrivent dans la perspective d'une nouvelle génération de capteurs ultra-sensibles et de moyens de communication futurs, ainsi que de leur intégration ultra-compacte pour une utilisation généralisée. On peut citer par exemple le développement de convertisseurs opto-électromécaniques cohérents, les systèmes hybrides quantiques (association d'un résonateur mécanique et d'un degré de liberté quantique), les cristaux nano-optomécaniques (qui pourraient être utilisés comme isolants topologiques), les sondes locales nano-optomécaniques, la définition de nouveaux standards métrologiques, etc. Les défis technologiques associés à ces enjeux relèvent essentiellement de la sensibilité de ces systèmes aux effets de la décohérence, qui doivent

être minimisés autant que possible. Des progrès très spectaculaires ont été très récemment réalisés dans cette direction, avec l'apparition au cours de l'année 2017 de systèmes nanomécaniques dotés de facteurs de qualités dépassant le milliard à température ambiante. L'élaboration de procédés permettant d'allier de très faibles coefficients de dissipation optique et mécanique reste toutefois un défi qui alimente une recherche intense.

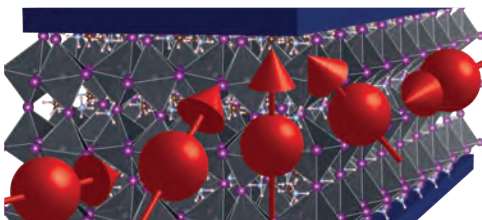
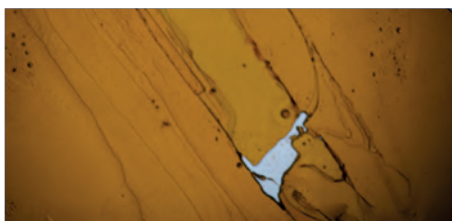
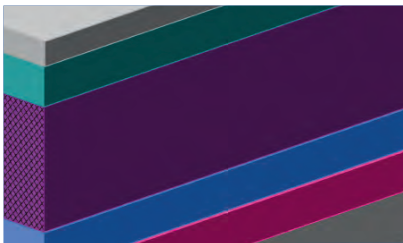
## ENJEUX ET DÉFIS FONDAMENTAUX

Les progrès technologiques des systèmes mécaniques ultra-sensibles sont également alimentés par des enjeux fondamentaux relevant essentiellement de ce que l'on appelle la « seconde révolution quantique », tels que l'observation et le dépassement des limites fondamentales de sensibilités dans les mesures de déplacement, l'observation de la quantification de l'énergie mécanique à l'échelle macroscopique (et donc la mesure quantique non-destructive du mouvement), la préparation d'états mécaniques macroscopiques non classiques, ou encore l'observation de l'influence de la gravité sur les phénomènes de décohérence quantique. Ces enjeux font aujourd'hui l'objet de nombreuses recherches visant à comprendre les conséquences de ces phénomènes à l'échelle macroscopique, à proposer des protocoles de mesures compatibles avec la théorie quantique, ainsi qu'à modéliser les systèmes se présentant comme les meilleurs candidats.

# GDR

# PÉROVSKITES HALOGÉNÉES (HPERO)

Le groupement de recherche Pérovskites halogénées (HPERO) est dédié aux pérovskites halogénées. Il propose une approche multidisciplinaire mélangeant à part égale les aspects fondamentaux et appliqués, de façon à créer une synergie susceptible d'élaborer de nouveaux concepts comme de proposer de nouvelles potentialités en termes d'applications.



## 3 thématiques

---

Ingénierie chimique du matériau

---

Caractérisation des propriétés structurales, électroniques et optiques du matériau

---

Le matériau et ses interfaces

---

**125** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **35** laboratoires

---

**Coordinatrice :** Emmanuelle Deleporte (LAC) | [emmanuelle.deleporte@ens-paris-saclay.fr](mailto:emmanuelle.deleporte@ens-paris-saclay.fr)

**Coordinateurs adjoints :** Jacky Even (FOTON), Claudine Katan (ISCR) et Nicolas Mercier (MOLTECH-ANJOU)

# PROSPECTIVES

Les pérovskites hybrides halogénées ont marqué une percée pour le photovoltaïque en 2012, avec un premier rendement validé dans le diagramme NREL à 14,1 % début 2013. En 2017, le record certifié est de 22,7 %, dépassant ceux des filières silicium films minces ou multicristallines de même que celui de la filière CIGS. L'emploi des pérovskites halogénées dans des architectures de type cellules tandem, notamment avec le silicium, devrait permettre d'atteindre des rendements records de plus de 30 % dans les prochaines années.

Ces rendements records étant obtenus sur de petites surfaces, une mise à l'échelle des procédures de fabrication (up-scaling) est un enjeu important, d'autant plus que la technologie de dépôt des couches (basse température, en solution) est a priori bien adaptée.

Les problèmes de stabilité (d'origine chimique ou sous illumination) des cellules à pérovskites sont un verrou technologique dont la résolution ouvre plusieurs champs de recherche, avec des travaux visant à (i) comprendre les mécanismes sous-jacents que ce soit du point de vue expérimental ou théorique, (ii) développer de nouvelles interfaces incluant des couches tampons de matériaux organiques ou inorganiques – outre la recherche de transporteurs de trou/d'électrons mieux adaptés, (iii) revoir la composition de la couche pérovskite.

Cette dernière voie a participé à une véritable résurgence de l'intérêt pour les pérovskites en couches, bien connues

depuis le début des années 1990 pour leurs propriétés optiques remarquables. Par ailleurs, la communauté internationale s'est également tournée vers les édifices nanométriques comme les îlots quantiques.

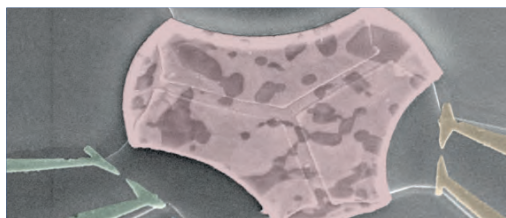
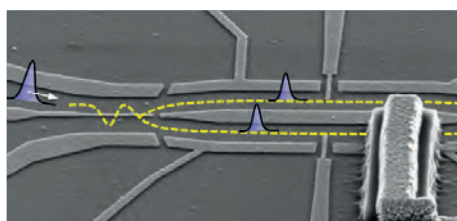
Le champ des perspectives pour les pérovskites halogénées s'est étendu de façon considérable avec :

- un vaste champ d'exploration pour l'ingénierie chimique : mise en forme (cristaux, films minces, nanostructures), dopage, exploration de nouveaux cations, substitution du plomb, encapsulation, couches d'interfaces dans les dispositifs
- un nombre croissant d'applications potentielles : LEDs, diodes lasers, photodétection, transistors à effet de champ, spintronique/spinorbitronique, catalyse et photocatalyse (production d'hydrogène)
- des besoins croissants en matière de compréhension de leurs propriétés physiques : informations structurales, nature et rôle des défauts, propriétés optiques (excitons, biexcitons), de transport (électronique, de spin) et élastiques, mécanismes physiques et chimiques aux interfaces. Cette compréhension s'appuie sur des travaux expérimentaux, nécessitant en particulier l'utilisation de grands instruments (neutrons, synchrotron, champs magnétiques intenses, RMN, GENCI), et théoriques, exploitant en grande partie le panel d'outils développés pour les semi-conducteurs « conventionnels ».

# GDR

# PHYSIQUE QUANTIQUE MÉSCOPIQUE (MESO)

La mission du groupement de recherche Physique quantique mésoscopique (MESO) est de fédérer l'activité nationale en physique quantique mésoscopique. Ses thèmes d'activité portent sur le transport électronique cohérent dans les conducteurs de toutes dimensionnalités et nature (systèmes hybrides, isolants topologiques, graphène, supraconducteurs, etc.). Les évolutions récentes portent sur la manipulation des états quantiques dans de tels systèmes, ainsi que sur leur comportement à haute fréquence.



## 4 thématiques

---

Transport et manipulation cohérente de charge et de spin

---

Systèmes hybrides, matière topologique et de Dirac

---

Systèmes quantiques et environnement

---

Thermodynamique des systèmes mésoscopiques

---

**320** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **35** laboratoires

---

**Coordinateur :** Patrice Roche (SPEC) | [patrice.roche@cea.fr](mailto:patrice.roche@cea.fr)

**Coordinateurs adjoints :** Nicolas Roch (NEEL) et Mark Goerbig (LPS)

# PROSPECTIVES

## LES ENJEUX

La thématique générale du GDR MESO est l'étude des propriétés quantiques des conducteurs, principalement par des mesures de transport qui renseignent sur la nature ondulatoire des porteurs de charge, mais aussi par des mesures de bruit de courant qui renseignent sur la nature corpusculaire et donc la statistique des porteurs. Ces dernières années ont vu émerger des techniques de sondes locales (mesures capacitives, mesures de transport tunnel, ...), des mesures à fréquences finies (pour atteindre le régime où la fréquence de l'excitation est comparable aux fréquences caractéristiques du circuit) et des expériences hybrides combinant optique et transport. La plupart des expériences se font sur des basses énergies (en dessous de la centaine de  $\mu\text{eV}$  et à très basse température (10 – 100 mK).

Le GDR reste très axé « physique fondamentale », même si nous restons attentifs aux applications possibles. En particulier, on peut s'attendre à ce que nos travaux aient des conséquences pour l'information quantique. En effet, si la miniaturisation des composants électroniques suit son cours, l'électronique du futur pourrait rentrer dans des domaines où les effets quantiques jouent un rôle important. Toutes les recherches sur les bits quantiques justifiées par la perspective d'un possible ordinateur quantique ont permis de comprendre beaucoup de mécanismes sous-jacents responsables de la perte de cohérence quantique. Un autre point très important est l'émergence de nouveaux types de matériaux ou de la matière topologique. Le graphène en est un exemple flagrant où les progrès réalisés dans la fabrication d'échantillons de haute mobilité ont permis de réaliser des étalons de résistance pour la métrologie

basés sur l'effet Hall quantique ne nécessitant pas de refroidissement à l'hélium liquide.

Les enjeux fondamentaux se déclinent sur les 4 axes que nous avons soulignés dans la demande de renouvellement du GDR à savoir :

- le transport et la manipulation cohérente de charge et de spin
- les systèmes hybrides, la matière topologique et de Dirac
- le couplage des systèmes quantiques avec leur environnement
- la thermodynamique des systèmes mésoscopiques

Les moyens théoriques et expérimentaux nouveaux permettent de sonder les systèmes dans des limites jamais explorées, au-delà d'une simple approche perturbative. Un des enjeux de notre GDR est de promouvoir une culture scientifique permettant d'aborder les systèmes quantiques avec une vision transversale, combinant des approches issues des autres communautés.

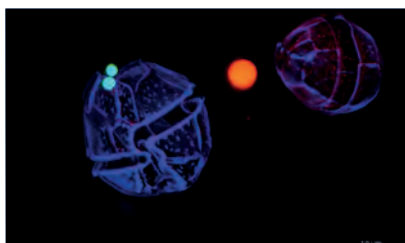
## LES DÉFIS

Les systèmes que nous étudions contiennent naturellement de nombreuses particules en forte interaction. Ainsi, l'un des défis est de résoudre le problème à N-corps, quel que soit le type d'Hamiltonien, dépendant du temps ou non. Ce défi est à la fois théorique et expérimental puisque pour traiter de tels problèmes, il faut combiner de nouveaux outils théoriques et des expériences permettant de sonder des quantités toujours plus complexes.

# GDR

# POLYMÈRES ET OCÉANS (P&O)

La mission du groupement de recherche Polymères et océans (P&O) est de rassembler la communauté française travaillant sur le devenir des plastiques en milieu aquatique dans le but de favoriser l'émergence de nouvelles recherches interdisciplinaires sur ce sujet. L'atout majeur du GDR P&O est de mobiliser toutes les communautés scientifiques concernées : chimistes, physiciens, biologistes, écologues, écotoxicologues, océanographes, économistes et sociologues pour soutenir le développement d'approches multi-échelles et transdisciplinaires.



## 3 thématiques

---

Les plastiques : de leur entrée dans l'environnement à leur devenir ultime

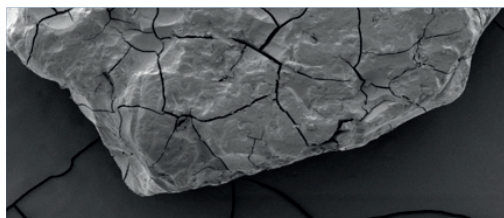
---

Impacts des plastiques et risques à long terme

---

Les pistes pour le futur

---



**180** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **45** laboratoires

---

**Coordinatrice :** Pascale Fabre (L2C) | [pascale.fabre@umontpellier.fr](mailto:pascale.fabre@umontpellier.fr)

**Coordinateurs adjoints :** Matthieu George (L2C), Jean-François Ghiglione (LOMIC), Fabienne Lagarde (IMMM)



# PROSPECTIVES

## LES PLASTIQUES : DE LEUR ENTRÉE DANS L'ENVIRONNEMENT À LEUR DEVENIR ULTIME

Quelles sont les quantités apportées par chacune des sources de contamination (rivières, fleuves, côtes, mer) ? Quel est le véritable niveau de contamination des océans (surface, colonne d'eau, fonds marins, sédiments) et comment modéliser le cycle du plastique en tenant compte du continuum terre-mer jusqu'aux abysses ? De nouveaux protocoles scientifiques doivent être mis au point pour tenir compte de toutes les échelles allant des macro, aux micro et nanoplastiques. De nombreuses connaissances fondamentales sur le comportement et le devenir ultime des plastiques dans l'environnement restent à acquérir. Afin d'évaluer les temps de dégradation des polymères dans un milieu aussi complexe que l'environnement, il est plus que jamais nécessaire de comprendre les liens entre leurs propriétés structurales et/ou morphologiques et leurs processus de (bio)dégradation et de fragmentation.

## IMPACTS DES PLASTIQUES ET RISQUES À LONG TERME

Quels sont les impacts de l'accumulation des plastiques dans le milieu aquatique sur les organismes et le fonctionnement des écosystèmes ? Comment les micro et nanoplastiques ainsi que les contaminants associés interagissent-ils avec les enveloppes cellulaires et quelles sont leurs capacités de transfert au sein des tissus et des

cellules ? La toxicité des micro-plastiques réside dans le fait qu'ils se composent d'un mélange complexe et dynamique de polymères et d'additifs, auquel les matières organiques et les contaminants chimiques et biologiques peuvent de plus se lier. Les mécanismes de colonisation et de formation du biofilm, le rôle des plastiques dans la vectorisation d'espèces, la biodégradabilité des polymères sont autant de sujets qui doivent être approfondis. Prenant en compte la grande diversité des plastiques et la complexité du milieu naturel, la recherche menée en laboratoire doit également se doter d'une dimension écosystémique.

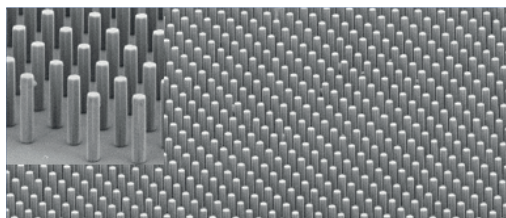
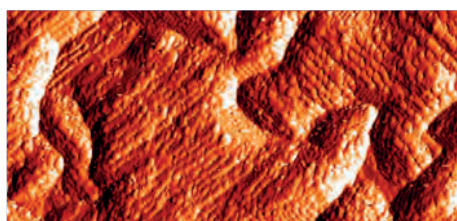
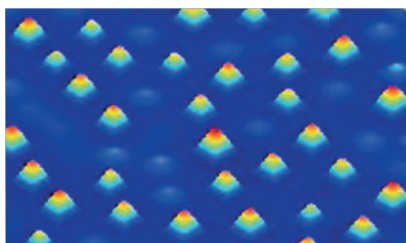
## LES PISTES POUR LE FUTUR

Quelles sont les solutions à privilégier pour le futur ? Comment une communauté scientifique interdisciplinaire peut-elle répondre à cette demande sociétale, environnementale, économique et politique ? Il est nécessaire dans les années à venir de pouvoir proposer des polymères innovants alternatifs, dont la biodégradabilité pourra être contrôlée en jouant sur leur physico-chimie, et dont on anticipera, dès leur conception, le devenir et les impacts potentiels en fin de vie. Pour tenir compte de la dimension sociale et économique du problème de la pollution plastique des océans, les questions relatives à la mise en place de nouveaux modèles économiques et à la perception des enjeux environnementaux par la société seront aussi posées.

# GDR

## PROCESSUS ULTIMES EN ÉPITAXIE DE SEMI-CONDUCTEURS (PULSE)

La mission du groupement de recherche Processus ultimes en épitaxie de semi-conducteurs (PULSE) est de rassembler la communauté française travaillant sur l'épitaxie de systèmes à base de semi-conducteurs, afin d'appréhender de façon globale les difficultés liées aux processus de croissance, les procédés innovants développés, les nouvelles directions suivies et les questions ouvertes, tant au niveau théorique qu'expérimental.



### 9 thématiques

---

Nouveaux concepts en germination, croissance

---

Hétéroépitaxie sur silicium

---

Couplage entre théorie et expérience

---

Couplage composition, contrainte et morphologie en hétéroépitaxie des semi-conducteurs

---

Nanostructuration des substrats

---

Organisation et épitaxie sur substrat fonctionnalisé

---

Croissance sélective, épitaxie latérale

---

Nouvelles approches de caractérisation locale

---

Intégration monolithique hétérogène

---

**300** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **27** laboratoires

---

**Coordinateur :** Jean-Noël Aqua (INSP) | [jean-noel.aqua@insp.jussieu.fr](mailto:jean-noel.aqua@insp.jussieu.fr)

**Coordinatrices adjointes :** Isabelle Berbezier (IM2NP) et Chantal Fontaine (LAAS)

# PROSPECTIVES

L'épitaxie n'a cessé depuis des décennies de produire des découvertes fantastiques associées à de nombreux prix Nobel : développement de l'épitaxie par jet moléculaire (MBE), invention du transistor, effet tunnel, effet Hall, spintronique, magnétorésistance géante, diodes LED bleues, isolants topologiques, etc. Aujourd'hui, de nouveaux besoins apparaissent tant en recherche fondamentale qu'industrielle, pour différentes applications et matériaux, en nanoélectronique, photonique, technologie de l'information, photovoltaïque, etc. Les défis portent sur le contrôle en termes de croissance et de propriétés, d'objets aux échelles atomiques « ultimes ». Si l'élaboration par épitaxie de matériaux de grande qualité est atteinte pour des couches nanométriques, les nouvelles applications portent sur des géométries plus complexes, nano-fils, boîtes quantiques, nanomembranes, matériaux 2D.

Les enjeux liés à la technique d'épitaxie sont multiples. Le développement de techniques in situ en temps réel ou dans la même chaîne de vide, constitue une réelle rupture pour l'élaboration. La microscopie électronique en transmission in situ devrait ainsi permettre l'observation en direct de la croissance à l'échelle atomique, quand les techniques d'analyse chimique devraient donner des cartographies à ces mêmes échelles. Les nouvelles lignes de synchrotrons et de sources « extrêmement brillantes », ouvrent la perspective de caractérisation fine des nano-objets, et d'analyse du couplage structures/propriétés (optiques et

électroniques) pouvant conduire à de nouveaux systèmes.

Les enjeux concernant les mécanismes de croissance concernent la compréhension et le contrôle de l'interaction physico-chimique matériau/substrat, ainsi que de la sélectivité et localisation de la croissance avec d'importantes perspectives d'intégration monolithique. Un objectif est d'accéder à la fabrication directe de nano-objets sur des substrats nanostructurés ou nanofonctionnalisés.

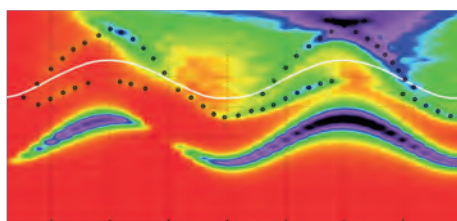
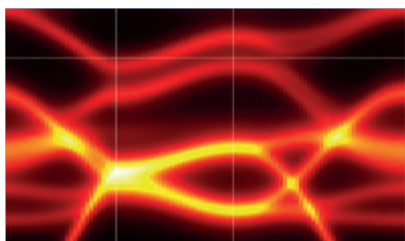
Le contrôle de l'épitaxie suppose aussi un renforcement du lien entre théorie et expérience, via la prise en compte d'une complexité suffisante. La modélisation des mécanismes hors-équilibre, le calcul par fonctionnelle de la densité (DFT) des propriétés optiques, électroniques ou de transport, ou le développement de nouvelles approches de type multi-échelle, révèlent le besoin d'une description réaliste prenant en compte la complexité des phénomènes.

Enfin, de réelles opportunités s'ouvrent avec l'interaction avec d'autres communautés, comme celle des matériaux 2D (graphène, silicene, etc.). Si leur production top-down est bien connue, elle aboutit à des systèmes trop limités. L'épitaxie de Van der Waals de matériaux 2D par jet moléculaire (MBE) ou en phase vapeur (CVD) ouvre la possibilité de croissance de films et hétérostructures pleine plaque, ouvrant le champ des applications à ces matériaux uniques.

# GDR

## RENCONTRES DE SPECTROSCOPIE THÉORIQUE (REST)

La mission du groupement de recherche Rencontres de spectroscopie théorique (REST) est de rassembler la communauté française des théoriciens et des simulateurs des états excités électroniques (de valence et de cœur). L'objectif est double : développer la théorie des états excités électroniques et modéliser des matériaux réalistes (matériaux massifs, surfaces, molécules et nanostructures) ayant un fort intérêt technologique.



### 3 thématiques

---

Développements fondamentaux au-delà de la théorie des perturbations

---

De l'écrantage aux spectroscopies

---

Approches efficaces pour la spectroscopie

---

**150** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **50** laboratoires

---

**Coordinateur :** Francesco Sottile (LSI) | [francesco.sottile@polytechnique.edu](mailto:francesco.sottile@polytechnique.edu)

**Coordinateurs adjoints :** Delphine Cabaret (IMPMC), Pina Romaniello (LPT),  
Hansi Weissker (CINaM)

# PROSPECTIVES

## TECHNIQUES EN TEMPS RÉEL

Le développement de techniques en temps réel (par opposition au domaine des fréquences en réponse linéaire), en particulier dans le cadre des théories de la fonction de Green, a été l'un des résultats récents de la communauté des excitations électroniques. Les membres du GDR REST sont très impliqués dans ces développements importants afin de contribuer à expliquer des expériences passionnantes réalisées récemment.

## AU-DELÀ DES APPROCHES PERTURBATIVES

Les développements conçus dans le cadre du GDR REST permettent aujourd'hui d'aller au-delà de la théorie des perturbations au premier ordre (en termes de potentiel externe, d'écrantage, etc.), et donc de s'attaquer à des systèmes plus compliqués, ou à des excitations complètement nouvelles (satellites en photoémission, par exemple). Un tout nouveau scénario s'ouvre donc dans ce domaine, qui nécessite une investigation théorique profonde à un niveau très fondamental.

## VERS DE NOUVELLES SPECTROSCOPIES

Le développement *ab initio* de la fonction d'écrantage au-delà de l'approximation dipolaire et avec l'inclusion d'effets excitoniques a ouvert la voie à de nouveaux effets (satellites excitoniques en photoémission), à de nouvelles spectroscopies (diffusion inélastique cohérente des rayons X), et surtout à de nouvelles idées (comme la condensation

d'excitons) à exploiter dans un avenir proche par l'ensemble de la communauté REST.

## DÉFIS AMENÉS PAR DE NOUVELLES EXPÉRIENCES

Les quatre dernières années ont été témoins d'énormes progrès du côté expérimental. Nouvelles directions, stratégies et investissements vont influencer largement le développement de la théorie.

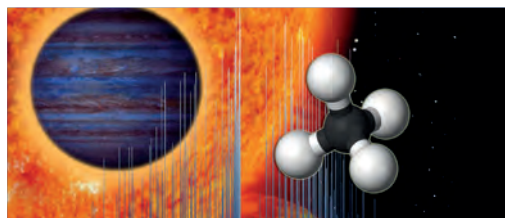
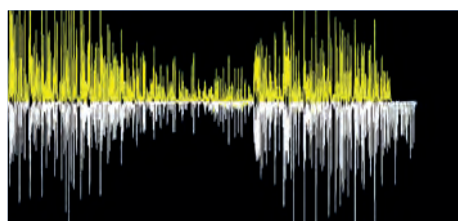
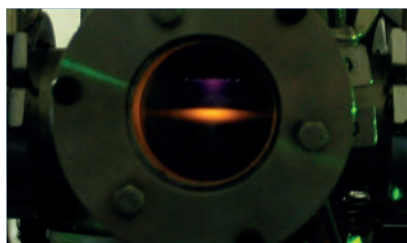
L'interaction laser-matière a été largement étudiée dans les dernières décennies, en particulier dans les atomes et les molécules. En revanche, ce n'est clairement pas le cas pour un cristal. Jusqu'à très récemment, il n'était pas possible de laisser un solide interagir avec des lasers puissants sans détruire l'échantillon. Ce n'est qu'en 2011 que l'on a pu observer la génération d'harmoniques élevées dans un solide de ZnO, ouvrant de toutes nouvelles possibilités. Ce champ passionnant doit être abordé de plusieurs côtés et nécessite une communauté variée et compétente (plutôt qu'un groupe) pour allier compréhension et efficacité.

La nécessité d'une contrepartie théorique à de nouvelles expériences plus complexes aura une importance cruciale dans quelques années, lorsque la nouvelle génération de synchrotrons verra la lumière partout dans le monde. En fait, des synchrotrons importants fermeront (à partir de 2019) pour un « upgrade » (ESRF, Spring8, Argonne, etc.). L'objectif : acquérir une résolution, une cohérence et par conséquent, une capacité sans précédent à effectuer des découvertes et des analyses nouvelles et passionnantes.

# GDR

## SPECTROSCOPIE MOLÉCULAIRE (SPECMO)

La mission du groupement de recherche Spectroscopie moléculaire (SPECMO) est de rassembler la communauté française de spectroscopie moléculaire, de diffuser l'état de l'art dans le domaine, d'aider ses membres à tisser des liens de recherche collaborative et d'accroître la visibilité de ses atouts et de ses compétences spécifiques.



### 5 thématiques

---

Spectroscopie et physico-chimie de l'atmosphère terrestre

---

Spectroscopie et astrophysique

---

Développements instrumentaux en spectroscopie

---

Spectroscopie et applications d'intérêt biologique

---

Chimie quantique, dynamique et spectroscopie

---

**200** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **30** laboratoires

---

**Coordinateur :** Vincent Boudon (ICB) | [vincent.boudon@u-bourgogne.fr](mailto:vincent.boudon@u-bourgogne.fr)

**Coordinatrices adjointes :** Isabelle Kleiner (LISA) et Amanda Ross (ILM)

# PROSPECTIVES

**Développement et utilisation de nouvelles techniques innovantes expérimentales.** *Chirped-pulses* en spectroscopie micro-onde et millimétrique, peignes de fréquence, lasers à cascade quantique, technologies à haute résolution visant des domaines spectraux encore mal exploités (THz, UV, VUV, etc.).

**Expériences de laboratoire et modélisation en conditions extrêmes.** Hautes températures, molécules ultra-froides.

**Questions astrophysiques actuelles.** Liées aux nombreuses détections d'exoplanètes, aux origines de la vie, à l'univers primordial, à la détection de molécules organiques complexes dans le milieu interstellaire et les comètes, à la détection de radicaux pour confirmer les modèles astrochimiques de formation des espèces, au magnétisme stellaire, aux rapports isotopiques.

**Applications à l'atmosphère terrestre.** Besoins de précision extrême, en particulier sur les profils spectraux, expérimentalement et théoriquement. Développement de nouvelles techniques. Modélisation des spectres infrarouges de petites molécules organiques volatiles, ainsi que de leurs produits de dégradation.

**Applications aux atmosphères planétaires.** Problème difficile des continua d'absorption (eau, CO<sub>2</sub>, méthane). Nouvelles techniques de calcul (dynamique moléculaire, etc.) à envisager.

**Utilisation des calculs *ab initio*.** Pour tendre vers la précision expérimentale. Calcul de la structure des conformères de

systèmes moléculaires de plus en plus grands, d'intérêt pour la biochimie.

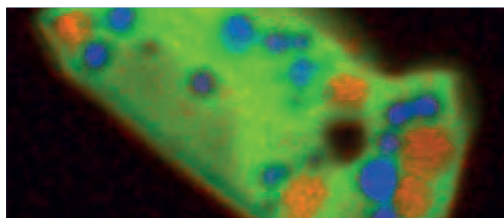
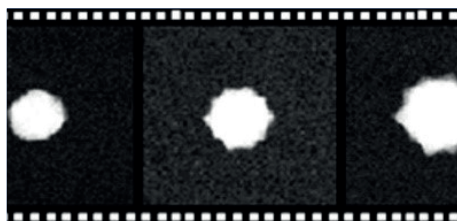
**Modélisation des mouvements de grande amplitude.** Cas de plus en plus complexes, comme les molécules avec plusieurs rotors internes, etc., en particulier pour le milieu interstellaire. Modéliser les interactions de vibration-rotation-torsion et les spectres infrarouges de petits rotateurs internes d'intérêts atmosphérique et astrophysique. Problème du couplage de différents mouvements de grande amplitude.

**Métrologie moléculaire.** Références absolues en fréquences (horloges atomiques) couplées aux peignes de fréquences, pour rivaliser avec la physique des hautes énergies, pour mesurer les constantes fondamentales. Extension des peignes de fréquences vers l'infrarouge, mais aussi vers les longueurs d'onde optiques (infrarouge proche, visible, ultraviolet). Techniques de deux peignes couplés et/ou association de peignes à cavité optique haute finesse.

**Mesures et calculs de spectroscopie pour les problèmes de dynamique réactive et non-réactive.** Formation d'ions et radicaux par collision dans le milieu interstellaire, problèmes corrélés avec réaction de protons sur des biomolécules, dommages radioactifs, etc. Pérennité, diffusion, modernisation des codes informatiques de spectroscopie moléculaire développés par les différentes équipes.

**Diffusion des données.** Bases de données, interactions producteurs-utilisateurs.

La mission du groupement de recherche Structure et dynamique des matériaux dans leur environnement « réel » (Nanoperando) est de rassembler les équipes françaises étudiant la dynamique structurale des matériaux en conditions « réelles ». Si l'analyse *in situ* ou *operando* est développée sur toutes les techniques permettant d'étudier la matière à l'échelle atomique, elle n'en reste pas moins une science très jeune et ses progrès futurs sont conditionnés par l'émergence de synergies interdisciplinaires, telles que les sciences de matériaux, les sciences de la Terre, et celles du vivant.



## 5 thématiques

---

Synthèse, restructuration et auto-assemblage des nanomatériaux

---

Réactivité des nano-catalyseurs

---

Réactions électrochimiques

---

Structure et dynamique des matériaux biologiques dans leur milieu natif

---

Cycle de vie des (nano)matériaux dans des environnements biologiques ou naturels

---

**160** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **50** laboratoires

---

Coordinateur : Damien Alloyeau (MPQ) | [damien.alloyeau@univ-paris-diderot.fr](mailto:damien.alloyeau@univ-paris-diderot.fr)



# PROSPECTIVES

Les objectifs des actions et événements scientifiques du GDR Nanoperando sont multiples :

**Stimuler le couplage entre les expérimentateurs (développeurs) des techniques environnementales et les potentiels utilisateurs spécialistes des matériaux,** en confrontant les possibilités et limites actuelles des techniques d'analyses environnementales avec les besoins des utilisateurs.

**Rapprocher trois communautés d'expérimentateurs** (microscopie électronique, microscopie champ proche et techniques synchrotron), qui malgré leurs buts, stratégies et problématiques communs, collaborent encore trop peu. Cette diversité des compétences techniques regroupée au sein du GDR sera un atout essentiel pour couvrir efficacement sa pluralité thématique.

**Exploiter la complémentarité des techniques environnementales et initier le développement d'approches corrélatives multi-échelles.** Confronter les résultats obtenus avec différentes techniques permettra de mieux comprendre les phénomènes observés *in situ* et les artefacts inhérents à chaque technique (effets du faisceau d'électrons, effet de pointe, interprétation des données

synchrotron, etc.). Cette approche facilitera également le transfert des idées, voire même des technologies entre les techniques. Il est aussi important d'établir des protocoles communs d'acquisition et de traitement des données susceptibles d'être applicables à différentes techniques et expériences.

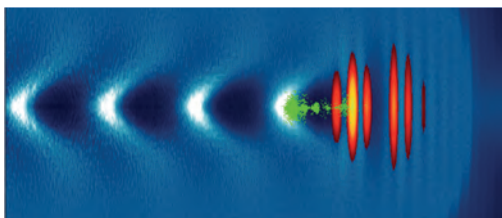
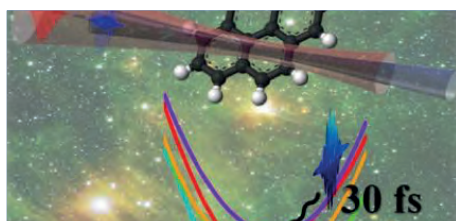
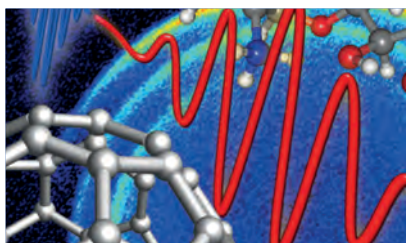
**Identifier et débloquent les verrous techniques freinant l'utilisation des techniques environnementales sur certains types d'échantillons.** Compte tenu de la diversité et de la complexité des phénomènes observables, il est indispensable de mettre en place des groupes de travail interdisciplinaires qui connaissent les contraintes instrumentales et les exigences spécifiques liées à la nature des échantillons et à leur environnement.

**Coupler l'expérience et la théorie.** En parallèle des récents progrès de l'analyse *in situ*, des approches théoriques sont développées pour comprendre les propriétés thermodynamiques des nanomatériaux en interaction avec leur environnement. En rapprochant expérimentateurs et théoriciens, le GDR Nanoperando générera de nouvelles synergies et rassemblera un pôle de compétence indispensable pour interpréter quantitativement des phénomènes dynamiques souvent très complexes.

# GDR

## ULTRAFAST PHENOMENA (UP)

La mission du groupement de recherche Ultrafast phenomena (UP) est de rassembler la communauté française des expérimentateurs et théoriciens qui étudie la matière dans tous ses états à des échelles de temps ultracourtes : attoseconde, femtoseconde, picoseconde.



## 7 thématiques

---

Science attoseconde & dynamique électronique

---

Théories

---

Systèmes isolés

---

Molécules environnés

---

Nano-objets

---

Interaction laser-plasma, sources secondaires de photons et de particules

---

Matériaux

---

**350** chercheurs et  
chercheuses impliqués  
au sein de **45** laboratoires

---

**Coordinateur :** Franck Lépine (ILM) | [franck.lepine@univ-lyon1.fr](mailto:franck.lepine@univ-lyon1.fr)

**Coordinateur adjoint :** Lionel Poisson (LIDYL) | [lionel.poisson@cea.fr](mailto:lionel.poisson@cea.fr)

# PROSPECTIVES

## DES SOURCES COMPACTES DE RAYONNEMENTS ULTRABREFS

Notre communauté est en forte évolution en raison notamment de l'émergence des nouvelles sources lasers très compactes aux performances remarquables qui permettent de renouveler les moyens de sonder la matière et d'envisager des expériences complexes, à taille humaine. Avec l'interaction laser-plasma, il est possible de développer des sources secondaires ultrabréves de plus en plus performantes : source d'électrons femtoseconde (fs), UVX attoseconde, protons accélérés par laser (pour la radiobiologie), X (fs) pour l'étude de la matière dense et chaude. Cette évolution permet d'étendre nos questionnements fondamentaux aux enjeux sociétaux actuels. Dans ce contexte, l'émergence de sources haute cadence (kHz et MHz) et explorant une large gamme spectrale du THz aux X est cruciale.

## L'ACCÈS AUX ÉCHELLES DE TEMPS ULTIMES

La physique attoseconde est un domaine phare en Europe dans lequel la France est un des pionniers et leaders. Elle est naturellement connectée à la communauté synchrotron (UVX, X). La compréhension de petits systèmes quantiques aux échelles de temps sub-fs va nécessiter le développement d'expériences « complètes » dans lesquelles tous les photons produits sont mesurés en coïncidence donnant accès aux dynamiques cohérentes de charges, de phases quantiques de diffusion électronique, de partage d'énergie ultra-rapide. De liens se développent également avec la physique du solide (transition de phase), l'astrochimie (HAP) ou la biologie (chiralité), rapprochant les intérêts des communautés.

## LES SYSTÈMES MULTI-ÉCHELLES ET HÉTÉROGÈNES EN PHOTOCHEMIE ET PHOTOBIOLOGIE

L'enjeu est de comprendre les architectures moléculaires photo-actives de complexité croissante mettant en jeu une succession d'actes élémentaires photo-induits impliquant des échelles spatio-temporelles multiples (commutation de protéines fluorescentes, transfert de ligands dans les hémoprotéines etc.). De nouvelles approches liées à l'interaction de molécules aux interfaces de solides métalliques ou semi-conducteurs se développent également, en lien avec la photocatalyse, la plasmonique chimique, le photovoltaïque.

## NANOPHYSIQUE (HAUTEMENT) NON-LINÉAIRE ET OBJETS HYBRIDES

L'ionisation à l'aide d'impulsions femtosecondes intenses de nanopointes permet d'envisager des sources d'électrons contrôlées spatialement et temporellement pour des applications en microscopie. Les effets non-linéaires sont aussi abordés pour l'étude de nanostructures hybrides (ex : en magnéto-plasmonique pour le stockage de données à grande échelle). De nouveaux matériaux pour l'électronique montrent des dynamiques ultra-rapides parfois inattendues : les multiferroïques (pour l'électronique de spin), les hétérostructures de type Van de Waals à base de graphène ou silicène, la plasmonique chimique, le photovoltaïque.

Photo de couverture : Dispositif optique de spectroscopie moléculaire. Le faisceau rouge sert à l'alignement des miroirs et de la cellule contenant le gaz moléculaire. Un laser à cascade quantique à 10 microns sonde des transitions d'absorption de molécules contenues dans une cellule de pression contrôlée. Ce laser est stabilisé sur un peigne de fréquences, lui-même stabilisé sur une référence de fréquence optique transmise par une fibre optique de 43 km du LPL (Laboratoire de Physique des Lasers) à Villeneuve, au SYRTE (Système de Référence Espace-Temps) à Paris, et raccordée aux horloges atomiques du SYRTE. © Cyril FRESILLON/LPL/FIRST-TF/CNRS Photothèque

## **INSTITUT DE PHYSIQUE**

3, rue Michel-Ange 75016 Paris

**inp.cnrs.fr**

Réalisation et mise en page : Jean-Marc Greneche et Marine Charlet-Lambert

Impression : CNRS DR1 IFSEM secteur de l'imprimé

**Janvier 2019**

