

Inventer  
les techniques d'analyse  
pour étudier les matériaux  
**de demain**

Le laboratoire de recherche « Groupe de Physique des Matériaux (GPM) » est une Unité Mixte de Recherche (UMR 6634) entre le CNRS, l'Université de Rouen et l'INSA de Rouen. Au CNRS, il appartient à l'Institut de Physique (INP) et secondairement à l'Institut des Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes (INSIS).

Le laboratoire (4500 m<sup>2</sup>) est situé dans les locaux de la Faculté des Sciences de l'Université de Rouen (4000 m<sup>2</sup>) et de l'INSA de Rouen (500 m<sup>2</sup>), sur le campus du Technopole du Madrillet (Sud de Rouen).

Le laboratoire rassemble 130 personnes (55 chercheurs et enseignants-chercheurs, 20 Ingénieurs, Techniciens et Administratifs, 40 doctorants et 15 post-doctorants, chercheurs invités et stagiaires de Licences / Masters). Le laboratoire est reconnu au niveau international pour ses travaux selon trois axes thématiques :

- 1 • **Instrumentation Scientifique :**  
**L'atome sous champ intense et rayonnements**
- 2 • **Sciences et Mécanique des métaux et alliages :**  
**de l'atome à la structure**
- 3 • **Nanostructures des Nanosciences et Nanotechnologies :**  
**de l'atome à la fonction**



**La plateforme instrumentale sur laquelle s'adosent ces recherches couvre une large gamme d'échelles et d'informations :** Sonde Atomique Tomographique, Microscopies Électroniques en Transmission et à Balayage, Spectroscopies IR, UV-Vis-PIR, Raman, Spectroscopie par photoluminescence, Spectrométries Mössbauer, SQUID, VSM, Diffraction de Rayons X, essais mécaniques en conditions anisothermes et multiaxiales, et conforte les **modélisations** développées et menées aux différentes échelles : Monte-Carlo Cinétique, Champ de Phase, Champ de Phase Cristallin, Eléments Finis, Loi de Comportement Macroscopique.

**Les recherches du laboratoire sont faites en fort partenariat avec d'autres laboratoires académiques ou centres de R&D industriels, nationaux ou internationaux.**

- **Le GPM est un laboratoire commun avec le Centre R&D d'EDF** (laboratoire commun EM2VM : Etude et Modélisation des Microstructures pour le Vieillessement des Matériaux) et collabore avec de grands groupes (tels par exemple : NEXANS, ARCELOR, ALCAN, EDF, CEA, UGIMAG, VALEO, Aubert et Duval, Michelin, Manoir Industrie, Freescale, Thales, FAVI, Aircelle...).

- **Le GPM est un laboratoire de l'Institut CARNOT ESP** (Energie et Systèmes de Propulsion) en raison de ses recherches partenariales sur les verrous technologiques des matériaux liés à l'Energie (Production (Nucléaire, Eolien, Photovoltaïque...), Transfert (Câble électrique), Stockage (Batterie)... ) et le Transport (Automobile, Aéronautique, Aérospatial). Il est aussi membre du Pôle de Compétitivité MOVEO. Des structures adaptées (laboratoires communs) ont été mises en place pour interagir le plus efficacement possible avec les PME-PMI locales ou nationales, avec les CRT régionaux : Analyses et Surface (Laboratoire Commun CEVIMAT) et CEVAA (Laboratoire Commun CECOVIM).

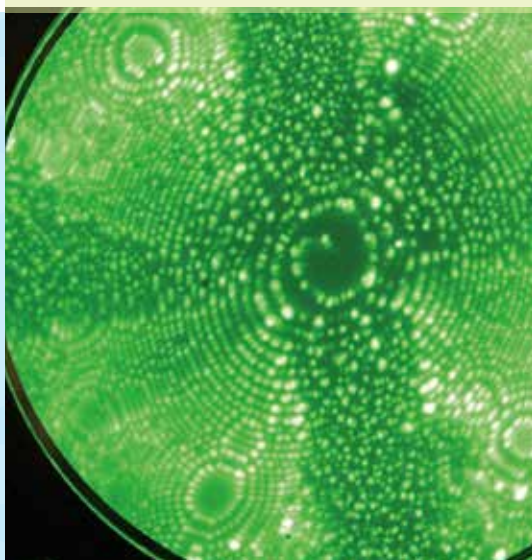
- **Le GPM est membre du Laboratoire d'Excellence EMC3** (Centre des Matériaux pour l'Energie et de la Combustion Propre) et est **porteur du projet d'Équipement d'Excellence GENESIS** (Groupe d'Études et de Nanoanalyses des Effets d'Irradiations).

- **Le GPM est un laboratoire de la fédération CNRS IRMA** (Institut de Recherche sur les Matériaux à Propriétés Avancées, qui regroupe le laboratoire Rouennais et deux laboratoires Caennais), qui est elle-même membre du **réseau National de Microscopies (METSa)**. Il est également membre du Centre de Compétences C'Nano Nord Ouest, des Réseaux Régionaux Hauts Normands de Recherche « Matériaux » et « Electronique ». L'étude des performances ou vieillissement des matériaux et nanomatériaux et la fiabilité des composants des systèmes embarqués sont des thèmes majeurs au GPM, en Région Haute Normandie et dans les filières d'enseignements locaux.



Instrumentation Scientifique :

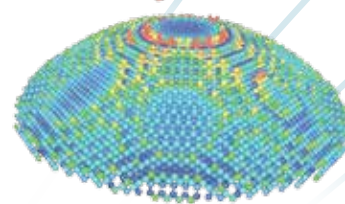
# L'atome sous champ intense et rayonnements



*Le laboratoire développe, depuis sa création (dans les années 1970), une des rares techniques au monde capable de faire des analyses quantitatives à l'échelle atomique et en 3 dimensions, sur des matériaux aussi variés que les métaux et alliages, les semi-conducteurs, les oxydes, les céramiques... : la Sonde Atomique Tomographique.*

*La recherche dans ce domaine est abordée selon trois thèmes :*

- 1 • Le développement instrumental de la Sonde Atomique Tomographique**
- 2 • La recherche sur le traitement des données et la compréhension des phénomènes à l'origine des limites de la technique** (*matière sous champ et lumière*)
- 3 • La recherche en rupture pour le développement de nouveaux concepts et outils pour l'analyse de la matière à l'échelle ultime.** *Tous ces travaux s'effectuent dans le cadre de la valorisation et le transfert technologique vers la société CAMECA qui commercialise l'instrument.*



## Compréhension des phénomènes physiques mis en jeu dans l'effet de champ

**Afin de toujours pousser la sonde atomique au-delà de ses limites, une compréhension totale des phénomènes physiques mis en jeu s'avère nécessaire.** L'équipe d'instrumentation scientifique développe des modèles théoriques qui permettent de décrire l'interaction laser-nanoobjet sous champ électrique intense en régime ultrabref. Ces modèles servent de base à la compréhension des mécanismes de l'évaporation des atomes de surface sous éclairage laser et sous champ.



## Développement instrumental, Valorisation et Transfert technologique

**Les développements instrumentaux réalisés au laboratoire permettent de dépasser les limites actuelles de cette technique** en termes d'efficacité et vitesse de détection, de résolution en masse, et de sensibilité des images 3D issues des analyses.

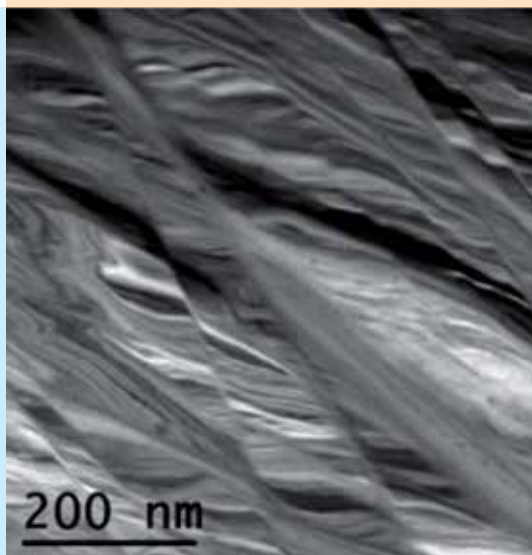
Ces recherches sont valorisées grâce à un contrat de recherche et de licence avec la société **CAMECA, l'Université et l'INSA de Rouen** et le **CNRS**. Les recherches fondamentales sont faites au **GPM** tandis que les développements sont faits à **CAMECA Inc. à Madison aux Etats Unis**.



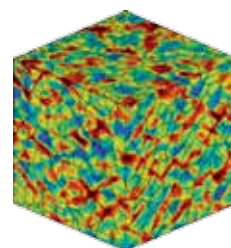
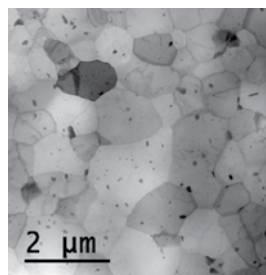
## Rupture technologique et Innovation

**La sonde atomique tomographique est un instrument d'imagerie des matériaux en constante évolution.** Une recherche est menée afin d'augmenter ses capacités actuelles grâce au couplage avec d'autres techniques d'analyses des matériaux, comme par exemple les techniques in-situ de spectroscopie optique, ionique ou électronique.

# Sciences et Mécanique des métaux et alliages : de l'atome à la structure



*Le laboratoire mène une recherche originale en Métallurgie Physique. Fort d'un parc expérimental quasi-unique, la recherche sur les métaux et alliages est abordée à plusieurs échelles, de l'observation à l'échelle atomique jusqu'aux essais thermomécaniques. Ce travail multi-échelle expérimental est adossé à une modélisation numérique elle-même adaptée aux différentes échelles observées. Quatre équipes de recherche travaillent sur la compréhension des performances et du vieillissement des matériaux de structures d'aujourd'hui et de ceux en développement pour le futur. Ainsi, ce sont les fondamentaux des transformations de phases dans les alliages, les matériaux en milieux extrêmes et nanostructurés, les matériaux et leurs surfaces et la mécanique des matériaux, qui sont abordés, majoritairement en lien avec des partenaires industriels.*



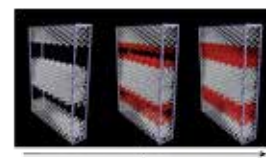
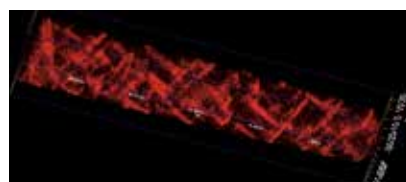
## Transformations de phases et Modélisations

Le contrôle et la compréhension des transformations de phases est une clé essentielle en métallurgie pour l'optimisation des microstructures et de leur vieillissement. **L'effet des contraintes, de l'irradiation ou des défauts cristallins** est abordé de manière systématique grâce à **différents outils de modélisation en interaction avec l'expérience**. Cette approche débute à l'échelle atomique (ab-initio, Monte-Carlo, champ de phase cristallin) passe par les simulations EF polycristallines et va jusqu'à l'échelle macroscopique pour l'identification et le développement de lois de comportement. Elle inclut également des approches purement thermodynamiques (Calphad®).

## Analyses multi-échelles

La **structure complexe des alliages métalliques** modernes pour des applications dans le transport, le nucléaire ou l'énergie **s'organise sur différentes échelles** : du précipité nanométrique jusqu'à la pièce finale.

Ces structures sont également parfois modifiées par les procédés de mise en œuvre (soudage, revêtement, mise en forme, ...). Ainsi, pour appréhender les problèmes dans leur ensemble, une approche multi-échelle est généralement menée, impliquant **une caractérisation allant de l'échelle atomique jusqu'à la structure industrielle**.

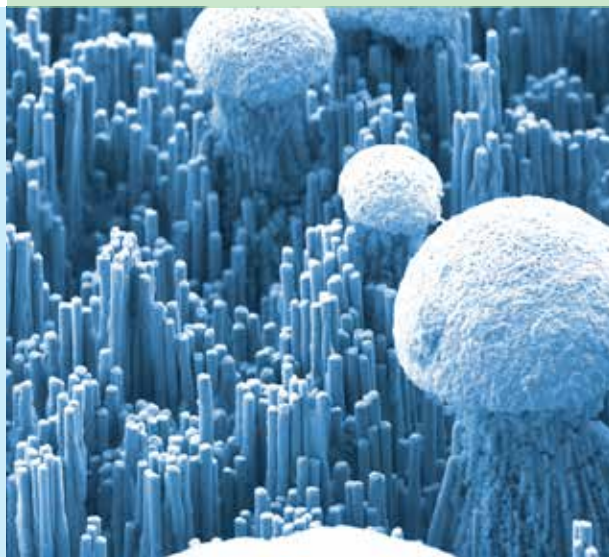


## Performance et Vieillesse des Matériaux

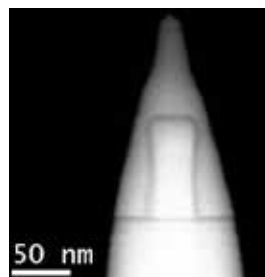
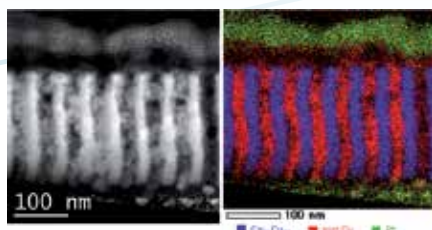
Etablir une **corrélation entre performances et évolutions structurales** est un enjeu important pour optimiser les propriétés et anticiper les défaillances. Il s'agit d'identifier les **mécanismes physiques opérant à l'échelle atomique** pour proposer des stratégies innovantes de développements de matériaux (nanostructures, composites, nouveaux alliages). Les efforts sont notamment concentrés sur les effets de la **corrosion**, de l'**irradiation** ou des **déformations**. En parallèle, les performances sous chargements complexes (cycliques, thermomécaniques...) sont investiguées jusqu'au développement d'équations constitutives pour le calcul des structures industrielles.



# Nanostructures des Nanosciences et Nanotechnologies : de l'atome à la fonction



*A l'heure des Nanotechnologies, l'étude des matériaux aux échelles ultimes est un enjeu important pour le développement des nouveaux concepts ou composants ainsi que pour la compréhension de leurs propriétés physiques ou fonctions (électrique, magnétique, optique, ...). Dans ce vaste domaine de recherche et développement, le laboratoire est aujourd'hui spécialisé dans l'étude des matériaux pour la nanoélectronique, l'optoélectronique, la photonique et le magnétisme. Trois équipes de recherche travaillent sur les matériaux de la microélectronique et photonique, les matériaux magnétiques et sur la fiabilité et défaillance des composants électriques. Ici encore la recherche et la modélisation aux petites échelles sont des points forts qui démarquent les travaux sur le plan international.*



## Nanostructures pour l'électronique et la photonique

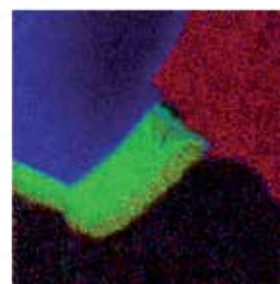
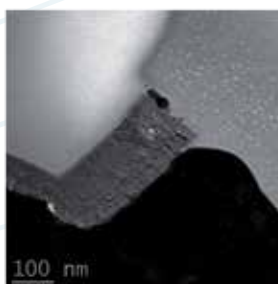
**Les caractéristiques des dispositifs électroniques (nanocomposants) ou photoniques (photovoltaïque) dépendent fortement des propriétés sub-nanométriques des matériaux les constituant.** Le laboratoire caractérise à l'échelle atomique et modélise le comportement de ces matériaux. Les nano-matériaux étudiés pour ces applications sont des semi-conducteurs ou des isolants dont les propriétés électriques ou optiques ont été modifiées par l'ajout d'impuretés spécifiques. Un couplage entre caractérisation à l'échelle ultime et modélisations permettent de créer le lien avec les propriétés macroscopiques de ces matériaux.

## Fiabilité des systèmes et des composants

**L'étude de la fiabilité et de l'analyse de défaillance de composants électroniques s'applique ici aux domaines de l'automobile ou de l'aérospatial.** Le laboratoire s'est engagé dans le développement de moyens d'analyse des phénomènes de dégradation et de défaillance des composants en microélectronique. Ainsi, sont étudiés les composants de puissance SiC pour des applications haute température des systèmes mécatroniques, les diodes, les transistors VJFET, MOSFET... ainsi que les transistors LDMOS, à haute mobilité électronique (HEMT) à base de Nitrure de Gallium (GaN)...

**Les moyens mis en œuvre pour cela sont :**

- Des bancs de caractérisation électrique statique et dynamique.
- Des bancs de vieillissement thermique et en conditions opérationnelles de fonctionnement.
- Des moyens d'ouverture des composants packagés (gravure chimique, laser ou plasma)
- Des moyens d'investigation par la microscopie à émission, PEM et OBIRCh.
- Des microscopes à balayage, SEM, en transmission à haute résolution HR-TEM.



## Nanostructures magnétiques

**Le laboratoire est spécialisé dans l'analyse multi-échelle des relations entre structure et propriétés magnétiques des matériaux nanostructurés (nanoparticules, nanofils, couches minces et multicouches...).**

L'investigation des mélanges chimiques aux interfaces dans des matériaux multiphasés aux nanostructures complexes, ainsi que la caractérisation de leurs structures magnétiques en relation avec les environnements atomiques locaux, permettent de faire progresser les connaissances dans le domaine des matériaux magnétiques et contribuent ainsi à la mise au point des matériaux magnétiques de demain.



**Contact :**

**Pr. Philippe Pareige - Directeur**

**Tél. : 33 (0)2 32 95 50 47 / 33 (0)6 43 04 31 87**

**[philippe.pareige@univ-rouen.fr](mailto:philippe.pareige@univ-rouen.fr)**

**Secrétariat :**

Mme Agnès Dalle-Quirion

Tél. : 33 (0)2 32 95 50 36

**Université de Rouen**

**GPM UMR 6634 CNRS**

UFR Sciences et Techniques

Avenue de l'Université - BP12

76801 Saint Etienne du Rouvray Cedex France

Email : [contact.gpm@univ-rouen.fr](mailto:contact.gpm@univ-rouen.fr)

Site internet : [gpm.labos.univ-rouen.fr](http://gpm.labos.univ-rouen.fr)