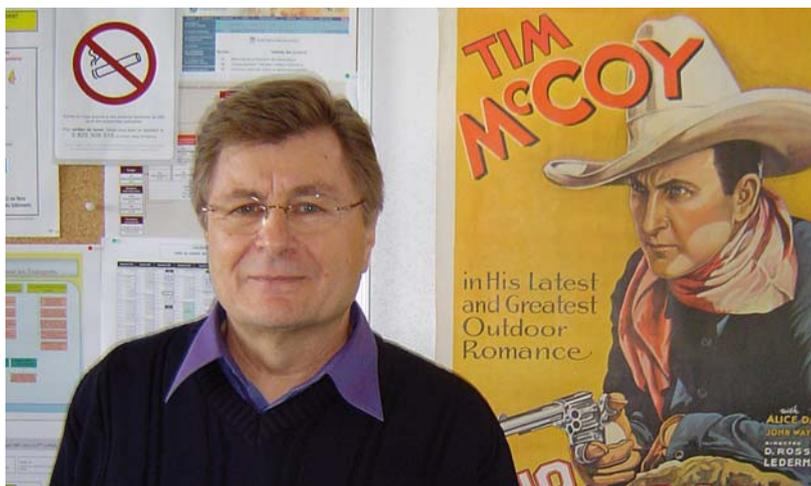


PHYMAT

Laboratoire de Physique des Matériaux

Premier laboratoire de l'Université de Poitiers à être associé au CNRS en 1969 (LA 131) sous le nom de "Laboratoire de Métallurgie Physique" (LMP), c'est au bout de sa huitième association, en 1996, qu'il est devenu l'UMR 6630. En 1995, du campus universitaire, le laboratoire déménage sur le site du technopôle du Futuroscope. Cette unité mixte de recherche, dirigée par Rolly Gaboriaud, est devenue, le premier janvier 2008, le "Laboratoire de PHYsique des MATériaux sous l'acronyme "PHYMAT". Il regroupe aujourd'hui une centaine de personnes.



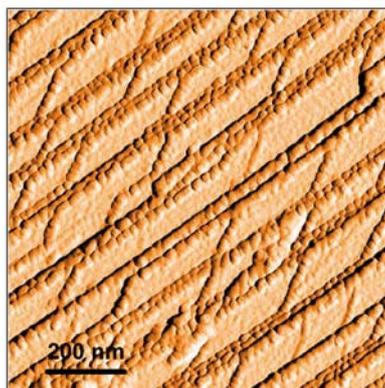
Le directeur du PHYMAT, Rolly GABORIAUD, à côté d'un souvenir ramené de son post-doc aux CalTech de Pasadena.

Le laboratoire possède une longue tradition d'étude des défauts structuraux des matériaux, de leur caractérisation et de leur influence sur les propriétés physiques induites. Ses thématiques de recherche portent sur des études recouvrant une grande diversité de matériaux qui va des métaux et alliages aux semi conducteurs, oxydes et céramiques. PHYMAT élabore et traite physiquement la très grande majorité des matériaux qu'il étudie.

À l'occasion du changement de son intitulé, le laboratoire a souhaité regrouper ses thématiques de recherche au sein de trois équipes. Il existe, entre ces équipes, une grande transversalité et une forte complémentarité aussi bien dans le cadre d'une gestion financière commune que dans l'utilisation de tous les appareils du laboratoire.

Films minces et matériaux nano structurés

Cette thématique se décline en plusieurs axes de recherche ayant comme fil directeur l'élaboration et la caractérisation de matériaux en configuration de basse dimensionnalité.



Auto-organisation de nano chaînes d'agrégats d'argent obtenues par dépôt par pulvérisation ionique en incidence oblique sur une surface vicinale d'Al₂O₃.

Films minces nano structurés

Des agrégats métalliques sont, soit introduits à l'intérieur de matrice diélectrique en films minces (nanocermet), soit déposées sur la surface.

Les applications potentielles de ces matériaux sont fondées sur la modification de leurs propriétés physiques et chimiques lorsque la taille des agrégats est réduite à quelques nanomètres. Pour des agrégats de métaux nobles, des propriétés optiques spécifiques liées au phénomène de plasmon de surface se manifestent sous la forme d'une bande d'absorption dans le domaine du visible. Les agrégats nanométriques à base de métaux de transition sont susceptibles de présenter de fortes anisotropies magnétiques. Les applications concernent alors le domaine de l'enregistrement magnétique à haute densité d'information et l'électronique de spin.

Cet axe de recherche vise à synthétiser des nanocermet originaux et à caractériser leur micro et nano structure, de façon à comprendre et optimiser leurs propriétés optiques et magnétiques

Physique des films minces d'oxyde

Les oxydes couvrent un large éventail de propriétés physiques remarquables dans un vaste domaine d'applicabilité. La physico-chimie des oxydes est extrêmement sensible à la température et à l'atmosphère environnante. Quand ils sont élaborés en films minces s'y ajoutent les rôles joués par le substrat et le type de techniques physiques ou chimiques de dépôt. Cet axe de recherche s'intéresse

à l'influence des changements de phase induits par traitements thermiques ou irradiation aux ions réalisés sur l'implanteur ionique du laboratoire. Les films minces d'oxyde d'yttrium sont particulièrement étudiés. Le but visé est l'optimisation des propriétés diélectriques ou bien optoélectroniques quand ces films minces d'oxydes sont dopés par des ions de terres rares.

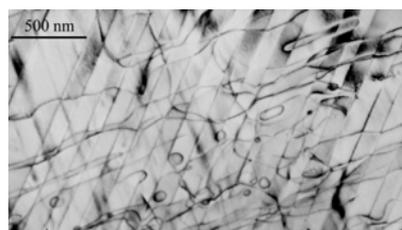
● Couches minces de phase MAX

Les phases MAX, extension des phases de Hägg, représentent une classe exceptionnellement étendue de céramiques. Elles répondent à une formule générale de type : $M_{1+n}AX_n$ où M est un métal de transition, A est un métal en général des groupes IIIA ou IVA et X est un métalloïde (C ou N). L'archétype de ces phases est Cr_2AlC et une cinquantaine de phases sont actuellement répertoriées. De façon étonnante, ces céramiques semblent posséder une ductilité non négligeable qui leur permet d'être façonnées par des outils de coupe classiques. Par ailleurs, ces céramiques possèdent des propriétés électriques (Ti_2AlN présente une résistivité électrique plus basse que celle du titane pur) et mécaniques intéressantes (faible dureté mais grande rigidité).

Cette recherche vise à jouer sur la composition de ces composés, qui peut être largement modifiée, de façon à ajuster composition et propriétés physiques recherchées.

Physique des défauts et plasticité

Ce thème a pour fil commun l'étude des défauts de structure dans les cristaux et la plasticité.



Micrographie électronique montrant un arrangement de dislocations dans un oxyde supraconducteur après traitement thermomécanique.

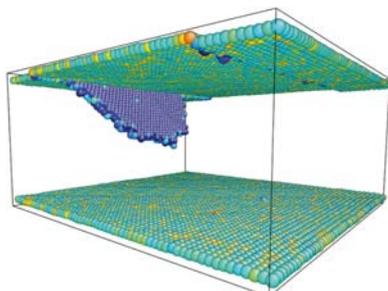
La présence de défauts cristallins joue un rôle fondamental sur le comportement en déformation des solides et sur des propriétés physiques comme les propriétés électroniques des semi-conducteurs.

● La plasticité des matériaux

La thématique historique du laboratoire est l'étude théorique et expérimentale de la plasticité des matériaux et par conséquent de la physique des dislocations au sein des semi-conducteurs, des métaux, alliages métalliques et des céramiques. Des calculs de simulation des phénomènes plastiques sont conduits parallèlement aux études expérimentales.

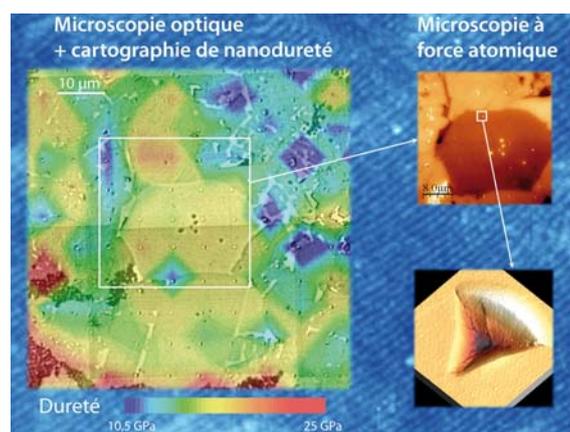
- L'influence de la plasticité des matériaux complexes tels les alliages ou des métaux à l'intérieur desquels on introduit une autre phase (par exemple des quasi-cristaux dans une matrice d'aluminium) sur leurs propriétés physiques (résistance mécanique et conductivité électrique) est un des axes de cette thématique.

L'étude de la plasticité de matériaux en conditions extrêmes vise à faire émerger de nouveaux matériaux composites pour le domaine des aimants pulsés et supraconducteurs. Le caractère innovant de ces matériaux provient à la fois de leur nanostructuration et de leur architecture spécifique multi échelle. À cet effet, cette recherche se propose de mettre en œuvre différents procédés de transformation comme le cofilage, le co-étrirage et l'extrusion coulée à aires égales. Une application particulièrement intéressante concerne les aimants pulsés, dans lesquels la nanos-



Simulation numérique de la structure d'un décrochement le long d'une dislocation vis par calculs DFT.

structuration est susceptible de favoriser des propriétés extrêmes de conductivité électrique et de limite élastique. Le domaine de la locomotion électrique est évidemment également concerné.



● **Les défauts de structures dans les matériaux** : L'introduction contrôlée de défauts de structure cristalline par implantation ionique (d'hydrogène, par exemple) réalisée sur l'implanteur du laboratoire dans des matériaux semi-conducteurs entraîne une modification des propriétés électroniques des composants et permet de piéger les impuretés métalliques. Cette recherche s'intéresse particulièrement au silicium et au carbure de silicium.

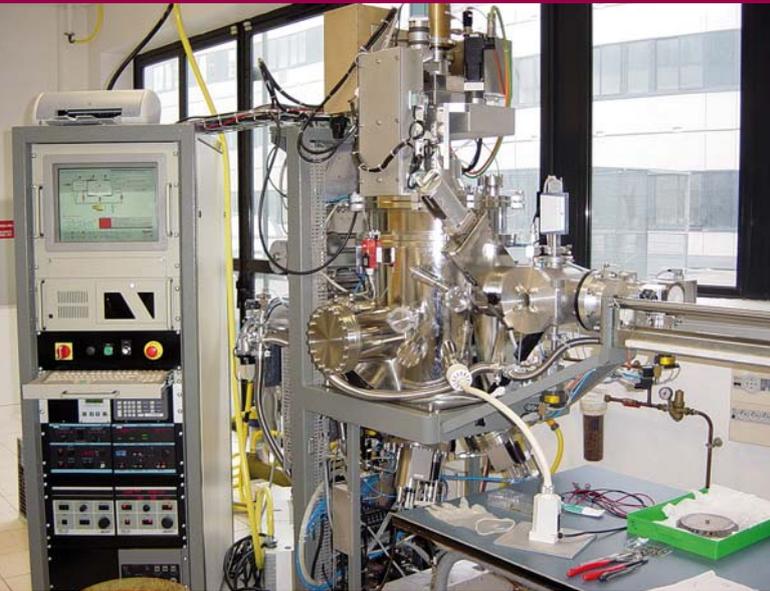
Cartographie de nanodureté (en couleurs artificielles) sur un polycristal de phase de Hägg (Phase MAX)

Propriétés mécaniques des films minces, surfaces et interfaces

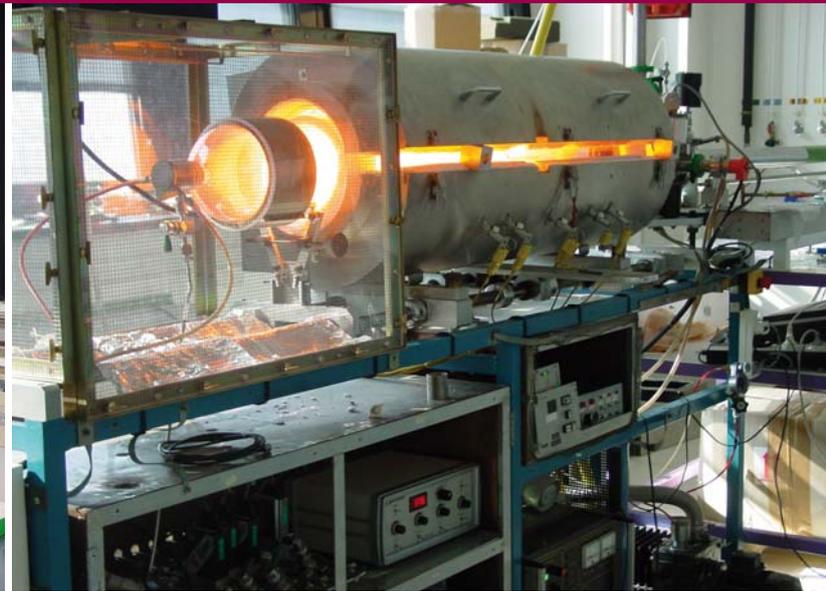
L'activité de cette thématique s'articule autour de plusieurs axes de recherche :

● **L'étude des instabilités de revêtements de surface contraints**, qui débouche sur des applications industrielles variées pour les semi-conducteurs mais aussi pour les problèmes de cloquage et fissuration que rencontrent souvent les matériaux à revêtements comme par exemple les verres filtrants et/ou auto nettoyeurs. C'est le cas des grandes surfaces de verres utilisés dans les tours des grandes métropoles.

● **L'étude de la nanoplasticité des surfaces** qui nécessite des techniques expérimentales originales comme la sollicitation mécanique sous microscope à champ proche (AFM) qui a été mise au point au laboratoire. Cette étude fait



Dispositif de dépôt de films minces de type magnétron.



Réacteur plasma de traitement de surface.

actuellement l'objet d'un projet de recherche ambitieux qui verra le fonctionnement d'une micro machine de déformation *in situ* sous microscope AFM et STM dans un environnement ultra vide. La nanoplasticité de surface qui sera étudiée à l'échelle atomique doit absolument se dégager de tout problème de pollution par l'atmosphère ambiante. Cette recherche s'appuie également sur un groupe de simulation théorique des phénomènes étudiés.

● **L'élastoplasticité de systèmes composites nano structurés** en couches minces est étudiée. Les phénomènes d'interfaces sont analysés et quantifiés par des calculs atomistiques. Ces études nécessitent une utilisation soutenue des grands instruments disposant du rayonnement synchrotron comme l'ESRF, SOLEIL, et intéressent le CERN.

● **La mesure de la nano dureté de surface de matériaux modèles** est réalisée par le groupe de nano-indentation qui a mis au point une technique originale d'imagerie de cette propriété mécanique.

● **Les propriétés mécaniques des surfaces fonctionnelles** de matériaux destinés à fonctionner en conditions extrêmes. Les surfaces d'un matériau sont traitées par plasma ou par implantation ionique puis testées par des mesures d'usure ou de dureté. L'acier est un des matériaux de prédilection de cette recherche qui fait régulièrement l'objet de contrat européen et donne lieu à de nombreuses collaborations comme celles avec le laboratoire voisin, le Laboratoire de Mécanique et de Physique des Matériaux (LMPM-UMR 6617) de l'École de Nationale Supérieure de Mécanique et Aérotechnique (ENSMa). Les deux laboratoires collaborent sur l'étude du comportement des matériaux en environnement de très hautes températures, pour les domaines applicatifs de l'aéronautique.

réacteur plasma et de diverses techniques de sollicitations mécaniques. A cette liste s'ajoutent les techniques de caractérisations multi échelle des matériaux comme la diffraction des rayons X, la microscopie électronique en balayage (MEB) et en transmission (MET), la spectroscopie de pertes d'énergie électronique, en transmission dans un MET et en réflexion dans un dispositif XPS, microscopie en champ proche, ellipsométrie et spectrométrie infra rouge.

Parmi les appareillages "mi lourds" plusieurs dispositifs ont un rôle stratégique dans le bon fonctionnement des différentes thématiques du laboratoire. Il s'agit :

● **D'une machine de dépôt** de films minces de type magnétron, très récente, construit sur mesure pour les besoins des recherches de PHYMAT et autorisant plusieurs caractérisations optiques *in situ* pendant le dépôt.



Machine de Paterson de déformation des matériaux sous pression hydrostatique.



Un parc instrumental très varié

Le laboratoire PHYMAT possède un parc instrumental important qui couvre diverses machines d'élaboration de matériaux massifs à base de métallurgie des poudres ou de dépôt en films minces. Ces machines sont complétées par des techniques de traitements de surface comme un implanteur ionique et un



Implanteur ionique de 200 kV



Dispositif de sollicitation mécanique sous microscope à champ proche (AFM).

- **D'un implanteur ionique** de 200 kV qui est une des spécificités du laboratoire et qui permet de traiter ou de modifier, par faisceaux d'ions, les divers matériaux qui sont élaborés et étudiés par les trois équipes du laboratoire.
- **D'un réacteur à plasma** dédié au traitement réactif des surfaces, très employé dans les études des propriétés mécaniques des surfaces des matériaux appelés à fonctionner en milieux sévères.

mations originaux sous fortes pressions (5000 bars de la température ambiante jusqu'à 1200 °C). Elle est utilisée pour des recherches sur le comportement en déformation des semi-conducteurs dans le domaine fragile.

Le laboratoire PHYMAT fonctionne dans le cadre d'une mutualisation, entre équipes, de ses ressources financières et instrumentales et perpétue cette tradition instaurée depuis sa création.

PHYMAT, qui mène des activités de recherche à forte composante fondamentale, est fédéré avec cinq laboratoires des sciences pour l'ingénieur du campus nord de l'Université de Poitiers implantés sur le site du technopôle du Futuroscope. La diversité des matériaux élaborés et étudiés dans le laboratoire entraîne un grand nombre de relations et collaborations internationales en particulier avec l'Europe, la Russie, l'Amérique du nord et l'Amérique du sud. ■

Claude FOUGERE
Danièle LE ROSCOUËT-ZELWER
Laurent ROBIN

- **D'un microscope électronique** à transmission de 200 kV, très récent, équipé du dispositif de Z-contrast (HAADF) et de la spectroscopie de pertes d'énergie électroniques (EELS).
- **D'une machine de déformation** sous pression hydrostatique (machine de Paterson). Cette machine, issue des géosciences, permet des essais de défor-

S'TILE

Le laboratoire PHYMAT héberge une "spin-off"* intitulée "S'TILE" (pour tuiles solaires) créée en 2007 par un Professeur du laboratoire.

S'TILE met en œuvre des techniques de développement de matériaux semi-conducteurs pour l'énergie solaire. En utilisant certaines techniques empruntées à l'industrie céramique, cette entreprise a pour objectifs de produire, à faible coût, des plaquettes de silicium polycristallines et des « tuiles solaires » de formes variées permettant une meilleure intégration à l'architecture.

*Entreprise issue du milieu universitaire.



Microscope électronique en transmission, de 200 kV à canon à émission de champ, équipé HAADS et EELS.



Presse haute température utilisée par S'TILE pour réaliser des plaquettes de silicium polycristallines.