15ième édition des journées du Cercle des Microscopistes JEOL

Journées CMJ Grenoble 2023
26 – 28 septembre

cnrs

JEOL Solutions for Innovation

UGA Université Grenoble Alpes

GRENOBLE INP UGA

Introduction et remerciements

En cette année 2023 les Journées du « Cercle des Microscopistes JEOL » reprennent de plus belle dans leur configuration la plus complète incluant « des ateliers pratiques » ainsi qu'une « formule hébergement » permettant de favoriser autant que possible les échanges entre participants.

Les « Journées CMJ Grenoble 2023 » signent la 15ième édition des Journées CMJ depuis leur origine en 2005 ; ces journées nous permettent de rassembler une nouvelle fois notre communauté de « microscopistes électroniciens », de retrouver le cas échéant les habitué(e)s, les collègues dont certains sont devenus des amis, de faire la connaissance des nouveaux membres et nouveaux collègues.

Après « Sorbonne Université » à Paris en 2022, nous sommes accueillis cette année à Grenoble, par nos collègues de Grenoble INP, du CNRS et de l'Université Grenoble Alpes, soutien officiel de notre manifestation scientifique.

Fort d'une participation importante de nos collègues Grenoblois, de France et de Navarre, le programme des « Journées CMJ 2023 » comporte 18 présentations orales et 4 ateliers pratiques, auxquels s'ajoutent, esprit associatif oblige :

- L'Assemblée Générale de l'association « Cercle des Microscopistes JEOL »,
- Des moments de convivialité permettant de favoriser l'intégration des nouveaux membres et d'impulser les habituels échanges entre participants, y compris entre participants et représentants de la Société JEOL.

Le comité d'organisation 2023 tient à remercier l'ensemble des participants pour leur confiance, leur soutien et leur fidélité à l'association « Cercle des Microscopistes JEOL ».

Le comité adresse également ses remerciements à l'ensemble des intervenants et intervenantes, animateurs et animatrices d'ateliers qui ont accepté de présenter les avancées scientifiques en microscopie électronique en transmission, et selon le cas leurs travaux de recherche, de développement, leurs matériels, leurs expertises, pratiques et savoir-faire, leurs applications etc. Le tout dans le cadre d'un programme représentatif des activités de notre communauté de microscopistes.

Le comité tient également à remercier la Société JEOL (Europe) SAS, notre partenaire et sponsor historique, pour son indéfectible soutien à l'organisation des Journées de notre Cercle.

Le Comité remercie enfin Grenoble INP / Université Grenoble Alpes d'avoir accepté d'accueillir deux de nos ateliers dans ses locaux (LMGP-Minatec, SIMAP-Campus Universitaire).

Le Bureau exécutif de l'association « Cercle des Microscopistes JEOL » tient à adresser tous ses remerciements à l'équipe d'organisation grenobloise pour sa forte implication dans la préparation des « Journées CMJ 2023 ».

L'association « Cercle des Microscopistes JEOL» créée en 2004, est l'association française « loi 1901 » qui a pour objet de promouvoir les échanges techniques et scientifiques entre utilisateurs et utilisatrices de microscopes électroniques de la marque JEOL.

Le Comité d'organisation des Journées CMJ Grenoble 2023

Organisation locale (Grenoble)

Christine Lancelon-Pin	CERMAV	Grenoble
Laetitia Rapenne	LMGP	Grenoble
Stéphanie Kodjikian	Institut Néel	Grenoble
Patricia Donnadieu	SIMAP	Grenoble

Bureau exécutif (Cercle des Microscopistes JEOL)

Dominique Demaille	*trésorière* INSP Paris
Joséphine Lai Kee Him	*vice-présidente « Biologie »* CBS Montpellier
Guillaume Brunetti	*vice-secrétaire* Société JEOL Croissy-sur-Seine
Loïc Brunet	*secrétaire, webmaster* BICEL PLBS Lille
Ovidiu Ersen	*président* IPCMS Strasbourg

Sommaire

Bienvenue à Grenoble 4

Informations pratiques générales 8

Informations pratiques: ateliers diffraction électronique 3D (A02) et traitement d'image avec Plug im! (A04) 10

Informations pratiques: atelier préparation de lames minces (A01) 11

Informations pratiques: atelier ASTAR/ACOM (A03) 12

Programme détaillé et résumés des présentations et des ateliers 13

- Jour 1 14
- Jour 2 23
- Jour 3 31

Liste des résumés 39

Liste des participants 42

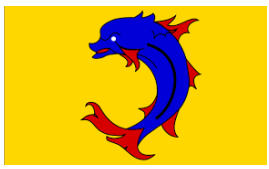
Liste des représentants de la société JEOL 46

Liste des membres du bureau 47

Bienvenue à Grenoble

Capitale des Alpes située au confluent de l'Isère et du Drac dans une ancienne vallée glacière et entourée par de hauts massifs montagneux (Belledonne, Chartreuse et Vercors) culminant à près de 3000 m, Grenoble est l'une des villes les plus plates de France. Elle fait partie d'un territoire nommé "Y grenoblois" qui doit son nom à la figure en forme de "Y" dessinée par les vallées du Grésivaudan, du Drac et la cluse de l'Isère (à Voreppe). Avec ses 450 000 habitants elle est la plus grande métropole des Alpes.

La naissance d'un Dauphin



L'histoire de Grenoble débute en -43 avant JC. Au départ simple bourg gaulois du nom de *Cularo* la bourgade sera rebaptisée *Gratianopolis* en l'an 379. L'importance de *Gratianopolis* s'accroît considérablement lorsque les Comtes d'Albon choisissent la cité comme capitale de leur comté peu après l'an 1000. En réunissant au fil des décennies les différents fiefs de la région ils forment un pays d'états qui prend au XIIe siècle le nom de Dauphiné de Viennois en référence à l'animal porté sur leur blason. En 1349 le Dauphin Humbert II ruiné sera contraint de vendre sa province au Roi de France. Le fils ainé du Roi prend alors le nom de Dauphin et a de fait autorité sur cette province. Le nom se transformera en *Graignovol* au XIIIe siècle puis deviendra *Grenoble* au XIVe siècle en ajoutant le suffixe Noble en référence au Roi de France.

Berceau de la révolution

En 1788 la population s'est mobilisée pour défendre ses parlementaires lors de la journée des Tuiles, en attaquant les troupes royales. A la suite de ces événements, la réunion des états généraux du Dauphiné, également appelée Assemblée de Vizille, se déroule le 21 juillet 1788 dans la salle du jeu de paume du Château de Vizille. Antoine Barnave et Jean-Joseph Mounier, représentants du tiers état à l'origine du fameux serment du jeu de Paume, furent d'illustres acteurs grenoblois de la Révolution française.

Haut lieu de la résistance

Durant la Seconde Guerre mondiale, Grenoble située en zone occupée (sous l'administration de Vichy, de l'Italie puis de l'Allemagne) a vu plusieurs noyaux de résistance émerger. Cette résistance s'est tout d'abord constituée dans la ville de Grenoble à l'initiative de personnes dont les noms sont restés célèbres : Marie Reynoard, Eugène Chavant, Léon Martin, Jean Perrot, l'abbé Pierre. Ils furent progressivement rejoints par des militants politiques puis par les personnes souhaitant échapper au Service de Travail Obligatoire (STO). À partir de 1942 et l'occupation italienne, la résistance se déplace dans les montagnes environnantes et différents maquis se constituent dans le Vercors et dans l'Oisans pour vivre et préparer les attaques. Ces maquis furent largement soutenus par la population locale. Les communes du Vercors ont payé un lourd tribut avec les massacres perpétrés par les allemands à la Chapelle-en-Vercors et à Vassieux-en-Vercors en particulier. Pour l'ensemble de leurs actes de résistance, Grenoble et Vassieux-en-Vercors furent nommées Compagnon de la libération le 4 mai 1944.

Une histoire de gant

La ganterie débute sous Henri IV et connait un véritable essor à partir de 1832 grâce à Xavier Jouvin qui définit les tailles de gants et invente "la main de fer", un emporte-pièce permettant la découpe du cuir en fonction des tailles. Au plus fort de son activité il y eut jusqu'à 180 ganteries qui ont employé plus de 30 000 couturières et brodeuses dans les entreprises ou à domicile et produisirent 1,5 millions de paires de gants.

Une histoire de bouton: Raymond Bouton

En 1872 Albert-Pierre Raymond invente le "crochet à hélice auto-perceur" pour chaussures lacées puis en 1886 le bouton pression afin de remplacer la série de boutons qui permet de fermer la manchette des gants.
L'entreprise familiale a perduré jusqu'à nos jours, elle est devenue le leader européen des solutions de fixation et d'assemblage sur le marché de l'automobile.

Une histoire d'eau et de papier

Au XIXe siècle, les industries horlogères et papetières des Alpes utilisent les roues à aubes pour produire de l'électricité du fait de l'abondance des torrents descendant jusque dans les vallées. En 1869, l'ingénieur Aristide Bergès utilise une chute d'eau de 200 m pour faire tourner ses défibreurs, râpant le bois afin d'en faire de la pâte à papier. Il parle alors de «houille blanche» car l'eau provient des glaciers par opposition à l'énergie produite à partir du charbon.

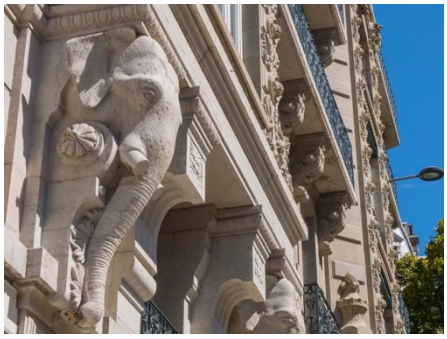
La modernisation des techniques hydrauliques, puis la mise au point de celles de l'hydroélectricité ont suscité dans les vallées alpines le développement de secteurs anciens comme la papeterie et la cimenterie, mais aussi de secteurs nouveaux comme l'électrochimie et l'électrométallurgie ou encore la production-distribution d'électricité car la puissance disponible excédait les besoins de la papeterie. Ce sera le début de la production industrielle de l'électricité pour l'éclairage. Un ingénieur français, Marcel Déprez réalisa plusieurs expériences de transport de l'électricité dont la plus déterminante se déroula en 1883 à partir de la vallée de la Romanche, entre Jarrie et Grenoble sur une distance de 14 kilomètres. C'est dans cette vallée entre le massif de l'Oisans et Grenoble que sont en fonction de nombreux barrages hydroélectriques.

En 1886 Paul Héroult dépose son premier brevet pour la fabrication de l'aluminium par électrolyse et 4 ans plus tard il démarre avec succès l'usine de Froges qui est aujourd'hui un des sites de production d'emballage en aluminium les plus performants de France. Il invente en 1907 le four à arc électrique pour l'acier. C'est grâce à ce four que les établissements Keller & Leleux installés dès 1902 dans la vallée de la Romanche pour bénéficier d'une énergie bon marché et nécessaire à leurs hauts-fourneaux ont pu inventer la fonte synthétique. Cette fonte obtenue à partir d'acier recyclé permettra la production d'obus en grande quantité pendant la guerre en s'affranchissant de l'usage du charbon nécessaire à la production d'énergie.

Le secteur de la construction mécanique a bénéficié de l'essor de la Houille Blanche avec la fabrication de turbines pour les papeteries et cimenteries (entreprise Neyrpic), la fourniture des installations hydroélectriques en conduites forcées, vannes (établissements Bouchayer et Viallet), la fabrication de pylônes (établissements Para). Après première guerre mondiale, l'entreprise Merlin-Gerin se lance dans le secteur de l'appareillage électrique (disjoncteur), tandis qu'au sud de Grenoble le pôle chimique de Jarrie-Pont-de-Claix émerge à partir de la chimie du chlore développée pendant la deuxième guerre mondiale.

Une histoire en béton - ou plutôt en ciment: l'or gris

Si les romains utilisaient déjà ce matériau à l'état naturel, c'est Louis Vicat qui est le père du ciment artificiel. En 1817 il publie dans les *Annales de chimie* un article dans lequel il formule sa découverte sur les lois de l'hydraulicité des ciments et des chaux, c'est-à-dire la capacité d'une chaux à faire prise sous l'eau. Cette découverte repose sur la cuisson d'une juste proportion de calcaire et d'argile.



À la suite des travaux de Louis Vicat sur le ciment, les initiatives de fabrication fleurissent. Dès 1842, à la porte de France, à quelques centaines de mètres à peine du centre historique de Grenoble, une cimenterie cuit les roches calcaires extraites à proximité pour en faire un produit d'excellente qualité : le ciment naturel prompt.

Grâce au moulage et à la préfabrication, l'usage de ce nouveau matériau est facile et d'un coût vingt-cinq fois inférieur à la pierre. Il est utilisé en grande quantité sous la forme de pierre factice ou fausse pierre de taille, en application décorative, en trottoir bien lisse (le trottoir « à la grenobloise »), en décor de jardin, etc. Cela explique l'extraordinaire richesse et la variété des décors existants sur les façades des immeubles.

L'énergie hydroélectrique une fois maîtrisée, restait à la développer en construisant des réservoirs. Vicat invente à Grenoble le béton armé qui allait s'avérer essentiel dans la construction des grands barrages.

Une histoire de chiffon: la soie artificielle

En 1884, Hilaire de Chardonnet entre dans l'histoire des grands inventeurs et connaît la célébrité et la fortune en inventant une soie artificielle (la viscose) à base de cellulose et de collodion douée des mêmes propriétés que la soie naturelle: brillance, ténuité et légèreté. Il installe son deuxième atelier en Isère où il perfectionnera ses inventions.

C'est en 1925 que sera créée la société nationale de la viscose qui employa jusqu'à 2000 personnes et fonctionnera jusqu'en 1989. Dans les anciens locaux d'Echirolles, commune voisine de Grenoble, se trouve maintenant le musée de la viscose

L'université: une histoire très ancienne

Si la première université vit le jour en 1339 avec l'enseignement du droit civil, du droit canonique, de la médecine et des arts, ce n'est qu'en 1805 après une succession de fermeture et de réouverture au gré des différents régimes que l'université renait avec la faculté de droit, puis celle de médecine en 1806 et enfin celle des lettres et des sciences en 1808.

L'essor industriel s'avère particulièrement stimulant, les capitaines d'industrie multipliant les expériences et les brevets tout en cherchant à former les premiers ingénieurs « maison ». Devant le succès des cours publics d'électricité industrielle, initiés par Paul Janet à partir de février 1892, la faculté des sciences fonde en 1900 l'Institut électrotechnique, soutenu par les collectivités locales et les milieux économiques, qui se transforme en 1909 en Institut polytechnique de Grenoble afin de s'orienter plus largement vers les spécificités industrielles de la région. En son sein naissent alors l'école française de papeterie (1907), l'école d'électrochimie et d'électrométallurgie (1921) et l'école d'hydraulique (1928).

En 1960 devant les effectifs croissants d'étudiants, la décision est prise d'ouvrir un campus en dehors de la ville sur le modèle des campus américains regroupant ainsi résidences étudiantes, bibliothèques, amphithéâtres et salles de cours, laboratoires de recherche et qui accueille aujourd'hui environ 65 000 étudiants.

Grenoble: Berceau de la microélectronique, de l'Informatique et des mathématiques appliquées

En 1953 la société CSF (Compagnie générale de télégraphie sans fil) décide d'implanter une usine à St Egrève (nord de Grenoble) pour fabriquer ses tubes électroniques mais dès 1956 devant l'évolution très rapide des semi-conducteurs, l'activité s'oriente vers la production des diodes au germanium et de transistors. Au fil des fusions d'entreprises la CSF deviendra Thomson-CSF puis ST Microelectronics maintenant implantée à Crolles (à l'Est de Grenoble) dans la vallée du Grésivaudan aussi dénommée "Silicon Valley française".

Jean Kuntzmann créé en 1951 le premier centre de calcul et les premiers enseignements d'informatique en France. Il a contribué à faire de l'Université de Grenoble une pionnière dans le domaine des mathématiques appliquées.

Grenoble et les grands instruments : une tradition

Durant la seconde guerre mondiale de nombreux scientifiques (Louis NEEL, Louis WEIL …) se sont réfugiés à Grenoble pour poursuivre leurs recherches et y sont restés après l'armistice bénéficiant d'un tissu industriel riche et favorable pour développer des collaborations et fonder de nombreux laboratoires. En 1946 Louis NEEL créé le laboratoire d'électrostatique et de physique du métal (LPEM), 1er laboratoire propre du CNRS en province, puis en 1950 le laboratoire des champs intenses au sein duquel sera découvert l'Effet Hall quantique. Mais ce sont ses découvertes sur l'antiferromagnétisme et le ferrimagnétisme qui lui vaudront le prix Nobel en 1970.

Créée à l'origine à la demande d'EDF en 1958 pour modéliser le mouvement des marées, la plateforme Coriolis avec un diamètre de 13 mètres unique au monde est maintenant utilisée pour étudier la dynamique des fluides géophysiques.

Le CENG (centre d'études nucléaires de Grenoble qui deviendra CEA Grenoble) voit le jour en 1956 sur l'ancien polygone d'artillerie. Trois réacteurs nucléaires expérimentaux seront installés sur le site: Mélusine, Siloé et Siloette aujourd'hui démantelés. En 1962 le CENG s'oriente vers la microélectronique et produit son premier circuit intégré 3 ans plus tard. Issue du LETI (Laboratoire d'Electronique et de Technologie de l'Information du CEA), la société SOITEC créée en 1992 est l'un des acteurs mondiaux de la production de matériaux semi-conducteurs.

L'influence de Louis Néel permet le développement de la recherche à l'interface de différentes disciplines scientifiques: la physique, la chimie, la biologie, l'information et la communication. Les progrès réalisés dans les techniques neutroniques aboutissent en 1967 à la création de l'Institut Laue-Langevin (ILL). Cet institut comprend un réacteur à haut flux qui permet l'exploitation d'une source de neutrons très intense.

La dernière grande contribution de Louis Néel à l'expansion de la recherche à Grenoble est la création en 1994 de l'European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) financé par 11 pays européens, permettant la production de faisceaux de rayons X durs, avec l'accès à 15 lignes de lumière. Depuis 2020, à l'issue d'une phase de modernisation, l'ESRF fournit sur 48 lignes de lumière, la source de Rayons X la plus brillante, la plus stable et la plus cohérente au monde.

Si la physique et plus généralement les sciences de l'Ingénieur ont toujours été très présentes à Grenoble, de nombreux autres domaines se sont développés comme l'étude de la biomasse et les matériaux biosourcés, la biologie et la biologie structurale mais également la médecine et les neurosciences. En 1987 le Professeur Benabid (Neurochirurgien au CHU de Grenoble) a développé avec ses collègues neurologues la "Simulation Cérébrale Profonde" permettant de réduire de façon spectaculaire les symptômes de la maladie de Parkinson. En 2009 il a fondé le centre de recherche biomédical CLINATEC regroupant une centaine de chercheurs autours des maladies neurodégénératives.

Fort de ces 17 000 chercheurs et enseignants-chercheurs et de son parc instrumental extrêmement développé, répartis sur le polygone scientifique et sur le Campus Universitaire, la métropole grenobloise est le 2ème pôle de recherche français. La microscopie électronique avec plus d'une trentaine de microscopes est une composante essentielle et importante des moyens mis à la disposition des chercheurs de l'agglomération pour la caractérisation multi techniques et multi échelles.

Grenoble et les sports d'hiver: l'or blanc

En 1878 l'alpiniste grenoblois Henri Duhamel découvre lors de l'exposition universelle de Paris de longues planches de bois qu'un exposant suédois lui recommande pour se déplacer sur la neige. Il sera le 1er à essayer le ski à Chamrousse en 1879.

Le début du XXe siècle voit l'essor du ski alpin et c'est dans ce contexte en 1907 qu'Abel Rossignol, artisan menuisier à Voiron, créé un atelier où chaque ski est usiné comme en ébénisterie.

En 1934 Jean Pomagalski invente le 1er téléski qu'il installe à l'Alpe d'Huez. Au lendemain de la guerre il créé son entreprise (POMA) et développe des télésièges, des télécabines, des téléphériques, en montagne mais également en milieu urbain dans le monde entier (grande muraille de chine, New York…) ou encore une liaison "blanc-blanc" qui relie 2 salles blanches du CEA Grenoble.

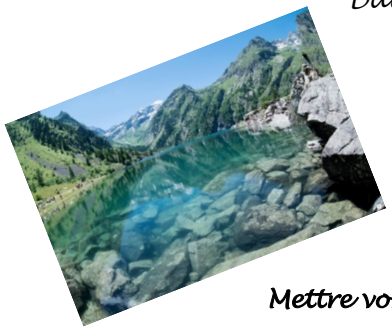
Grenoble accueille en 1968 les jeux olympiques d'hiver qui resteront dans les mémoires pour l'avènement de grands champions comme Jean-Claude Killy (3 médailles d'or), Guy Périllat et les sœurs Goitschel ainsi que pour la création la première mascotte des jeux appelée "Shuss"

Tout cela ne donne qu'un bref aperçu de l'histoire de Grenoble, nous aurions aussi pu vous parler de ces entreprises qui ont vu le jour à Grenoble:

Impossible d'être exhaustif alors revenez nous voir pour:

Parcourir *la route Napoléon entre Golfe Juan et Grenoble*

Déguster *la Noix sous toutes ses formes, le fromage bleu du Vercors, la Chartreuse, le gratin Dauphinois (sans fromage !) ……*



Randonner *l'été dans des paysages à vous couper le souffle,*
vous rafraichir sur les bords des lacs alpins ou dans les grottes de Choranche,
Traverser *le Vercors en hiver lors de la foulée blanche ou vous initier au biathlon*
Mettre vos pas *dans ceux de Stendhal, J.J. Rousseau, Champollion, H. Berlioz*

ALPES IS HERE

Alors à Bientôt 😉

Le Comité local CMJ Grenoble 2023

Infos pratiques (1/3)

1 > Venir à Grenoble

En train
- Direct *depuis Paris*
- Via Lyon ou Valence TGV *depuis les autres villes*

→ *Sortir de la Gare SNCF de Grenoble « Côté Europole » (voir plan ci-dessous)*

En avion
- Aéroport « Lyon - Saint-Exupéry » puis Bus vers la gare routière de Grenoble *(à côté de la gare SNCF)*

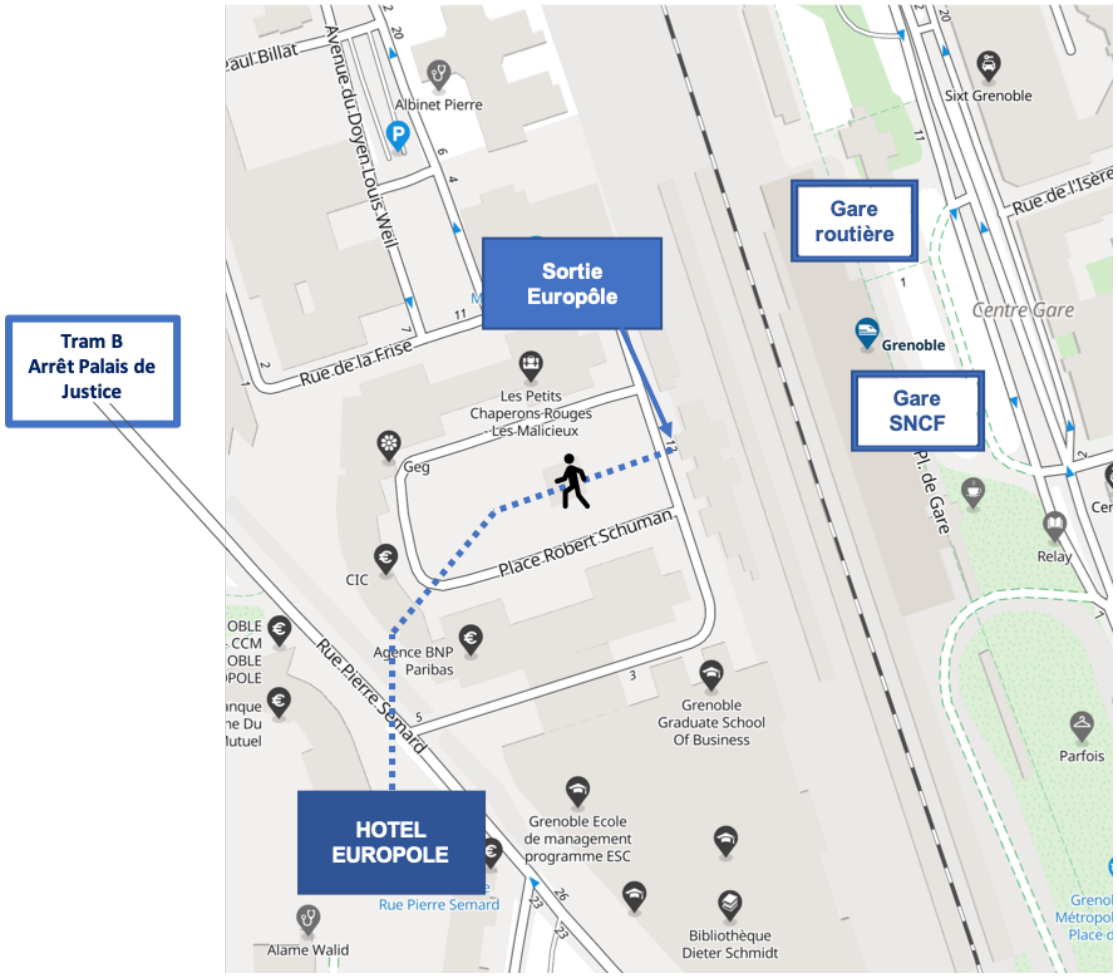
En voiture
- Accès par l'autoroute A48
  Parking « Grenoble Gares Europôle » (payant et sous réserve de disponibilité)
  2 avenue Doyen Louis Weil, 38000 Grenoble

Lieu principal des Journées CMJ
(Hébergement, conférences et certains ateliers)

Hôtel Europole
29 Rue Pierre Semard
38000 Grenoble

Tél. 04.76.49.51.52
https://www.hoteleuropole.com

→ *L'hôtel se situe à 300 m à pied des Gares (routières, SNCF) et du Tram (ligne B > Arrêt « Palais de Justice »)*



Infos pratiques (2/3)

2 > Restauration, planning

Du 26 au 28 septembre	repas du midi	sur place	Hôtel Europôle
Mardi 26 septembre	repas du soir	sur place	Hôtel Europôle
Mercredi 27 septembre	repas du soir	en extérieur	selon indications de l'organisation

(Photos non contractuelles)

J1 Mardi 26 septembre	J2 Mercredi 27 septembre	J3 Jeudi 28 septembre
11h30-12h30 Accueil participants *	09h00-12h15 Ateliers pratiques	09h00-12h30 Présentations orales
12h30-14h00 Déjeuner N°1 *	*13h00-14h00 Déjeuner N°2* *	*12h30-14h00 Déjeuner N°3* *
14h15 Ouverture des Journées CMJ 14h30-18h20 Présentations orales *19h30 Dîner D1* *	14h15-15h30 : Présentations orales 15h45-16h30 Ass. Générale CMJ 16h30-19h30 Act. ext.-scientifique *19h30 Dîner D2* **	14h15 Clôture des Journées CMJ

(*) l'accueil des participants, les 3 déjeuners et le dîner D1 se dérouleront à l'Hôtel Europôle
(**) le dîner D2 sera pris en extérieur

Infos pratiques (3/3)

3 > Ateliers

Lieux des Ateliers:

Atelier A2 (Diffraction électronique 3D) et **A4** (Traitement d'images avec Plug Im!): **1er étage de l'hôtel Europôle**

Atelier A1 (Préparation de lames minces): **LMGP – Minatec (plan d'accès p11)**

Atelier A3 (ASTAR/ACOM): **SIMAP – Campus Universitaire (plan d'accès p12)**

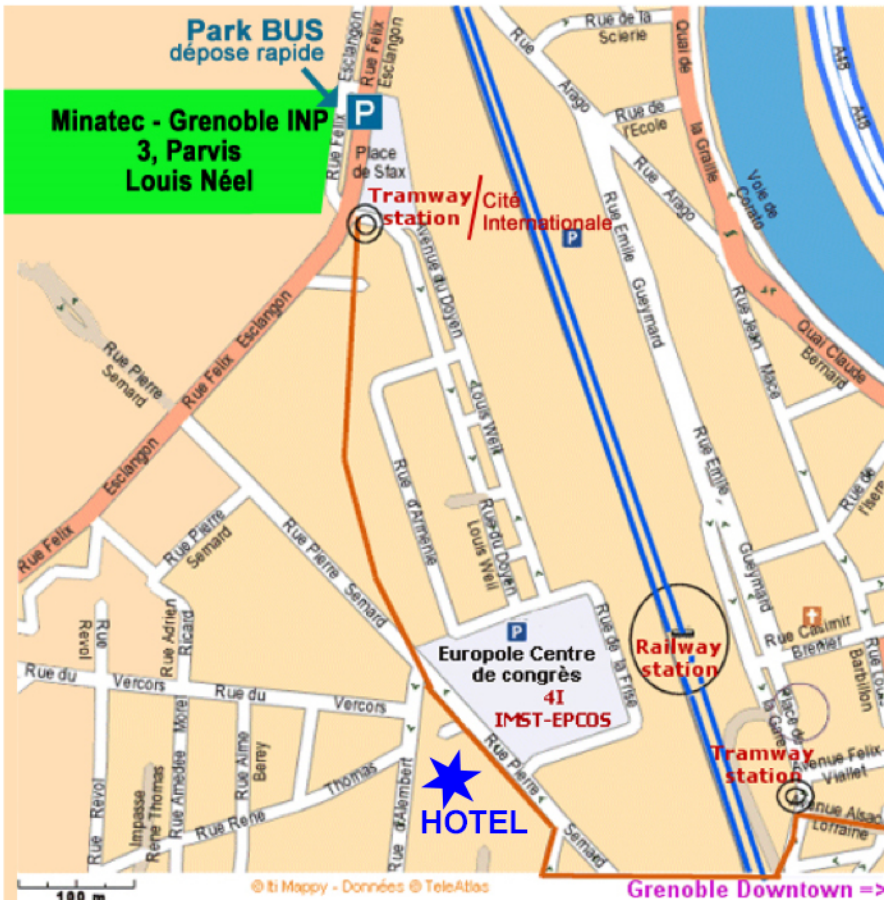
Suivez le guide: Patricia

Rendez-vous dans le hall de l'Hôtel à 8h00

A1 ► Préparation d'échantillons - amincissement mécanique multiprep tripode et amincissement ionique PIPS II

Animé par Laetitia Rapenne

A 10 minutes à pied de l'Hôtel



Laboratoire des Matériaux et du Génie Physique (LMGP)
Grenoble-INP – Minatec
3, parvis Louis Néel
38 016 GRENOBLE
Tél : 04 56 52 93 31
Laetitia.rapenne@grenoble-inp.fr

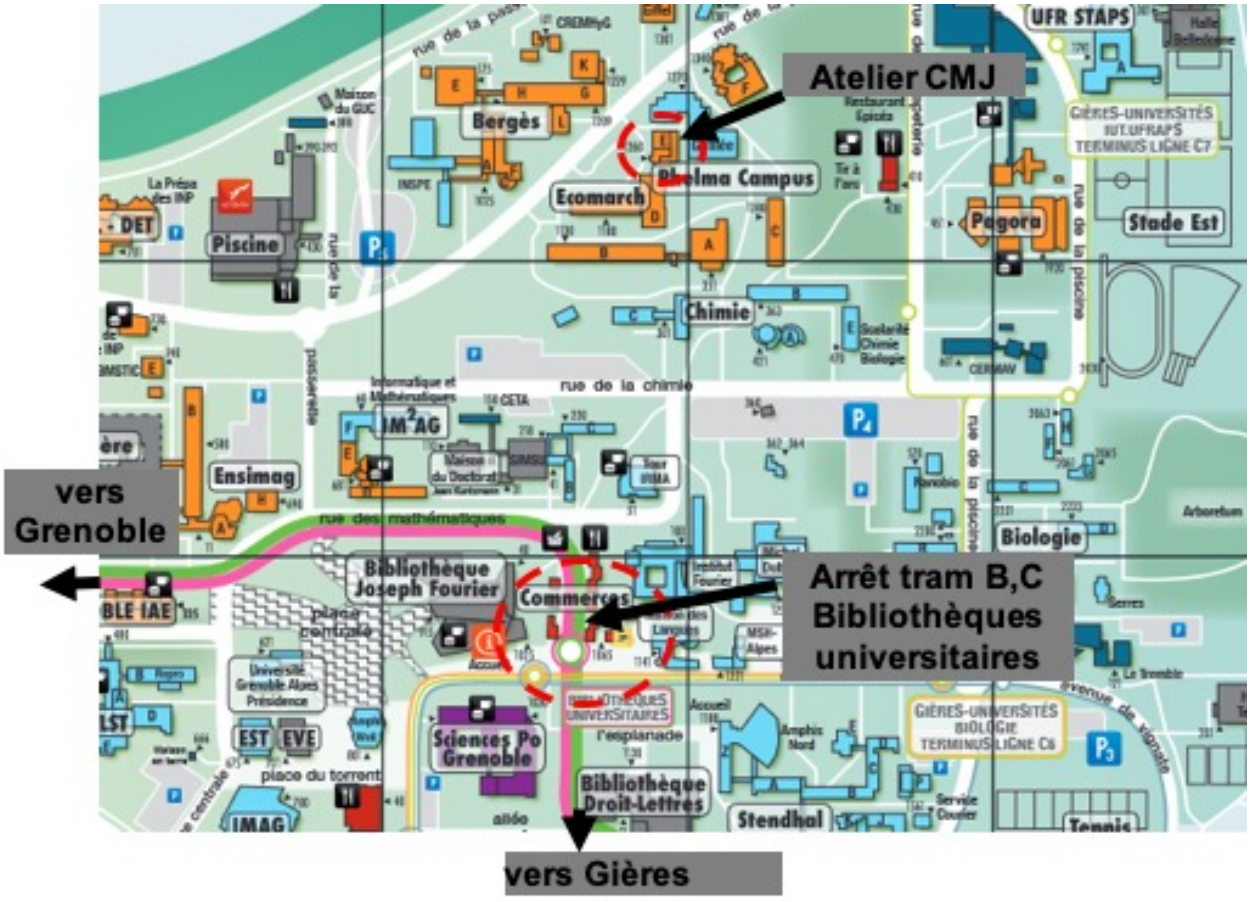
A3 ► ASTAR - technique d'acquisition automatique de cartographies d'orientation cristallines

Animé par Muriel VERON et Edgar RAUCH

Guide pour le trajet depuis l'hôtel: Patricia Donnadieu

Départ de l'Hôtel Europôle, **Tram B** arrêt "Palais de justice" à droite en sortant de l'Hôtel; direction "Gières – plaine des sports"
Descendre à l'arrêt "Bibliothèques Universitaires"

Adresse: laboratoire SIMAP
Phelma Campus bat E
1260 rue de la piscine
38400 Saint Martin d'Heres



Programme et résumés des présentations et des ateliers

Jour 1

Mardi 26 septembre 2023

Hôtel Europôle
29 Rue Pierre Semard
38000 Grenoble

Matin

11h30 - 12h30 : Accueil des participants
12h30 - 14h00 : Déjeuner sur place

Après-midi

14h15 - 14h30 : **Ouverture des Journées CMJ** *par Ovidiu Ersen, Président du CMJ*
14h30 - 16h10 : **Présentations orales**

14h30 - 14h55 P03 ▶ Arthur DESPRES, SIMAP - Grenoble
14h55 - 15h20 P08 ▶ Joël RIBIS, CEA - Gif sur Yvette
15h20 - 15h45 T01 ▶ Maxime MOREAUD, IFP Energies Nouvelles - Solaize
15h45 - 16h10 B03 ▶ Xavier JAURAND, Lymic CTμ - Lyon

16h10 - 16h40 : Pause-café

16h40 - 18h20 : **Présentations orales**

16h40 - 17h05 P02 ▶ S. KODJIKIAN et C. LEPOITTEVIN, Institut Néel - Grenoble
17h05 - 17h30 T02 ▶ Zineb SAGHI, CEA - Grenoble
17h30 - 17h55 P07 ▶ Xavier DEVAUX, IJL - Nancy
17h55 - 18h20 J01 ▶ Jean-Eudes TAGNE, JEOL Europe SAS - Croissy

19h30 : Dîner à l'hôtel Europôle

P03

Mesures MET du champ élastique induit par les dislocations dans une phase MAX Cr2AlC

Arthur DESPRES[1*], Salomé PARENT[2] , Muriel VERON[1] , Edgar RAUCH[1] , Anne JOULAIN[2] , Christophe TROMAS[2]

1 Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, SIMaP, F-38000 Grenoble, France,
2 Institut Pprime, Département de Physique et Mécanique des Matériaux, UPR 3346 CNRS - Université de Poitiers ENSMA, 11 Bd Marie et Pierre Curie, Site du Futuroscope, TSA 41123, Poitiers 86073 CEDEX 9, France

La mesure de déformations élastiques par *scanning precession electron diffraction* (SPED) repose sur la mesure de petites variations de la position des tâches de Bragg entre les diagrammes de diffraction issus de régions contraintes de l'échantillon et un diagramme de référence pris dans une région non contrainte. Cette méthode n'est pour l'instant pas adaptée à des échantillons présentant une variation significative de l'orientation cristalline. Dans ce travail, nous présentons une méthode pour prendre en compte les gradients d'orientation, qui couple la mesure d'orientation par *automated crystal orientation mapping* (ACOM) et la méthode classique de mesure de déformation.

Le traitement des données suit :

1. identification de la position des taches de Bragg dans le diagramme de référence
2. mesure de la désorientation entre les diagrammes de diffraction et le diagramme de référence
3. rotation du système de coordonnées suivant la désorientation mesurée
4. mesure de déformation dans le nouveau système de coordonnées

La méthode est illustrée sur un échantillon extrait d'un micropilier de phase Cr2AlC (voir Figure 1). L'ensemble de données SPED est acquis avec une caméra à détection directe d'électrons Medipix. Après déformation plastique, l'échantillon présente un gradient continu d'orientation induit par les dislocations. Un dipôle tension-compression se trouve autour de toutes les dislocations observées. L'orientation des dipôles suit la courbure progressive du réseau cristallin sur la zone balayée, et l'intensité des déformations élastiques est proche des prédictions théoriques. De plus, des déformations élastiques à plus grande échelle sont mesurées à l'échelle de l'échantillon entier. Celles-ci sont attribuées à des déformations élastiques 'macroscopiques' non relaxées consécutives à la déformation plastique. Les perspectives potentielles sont enfin discutées.

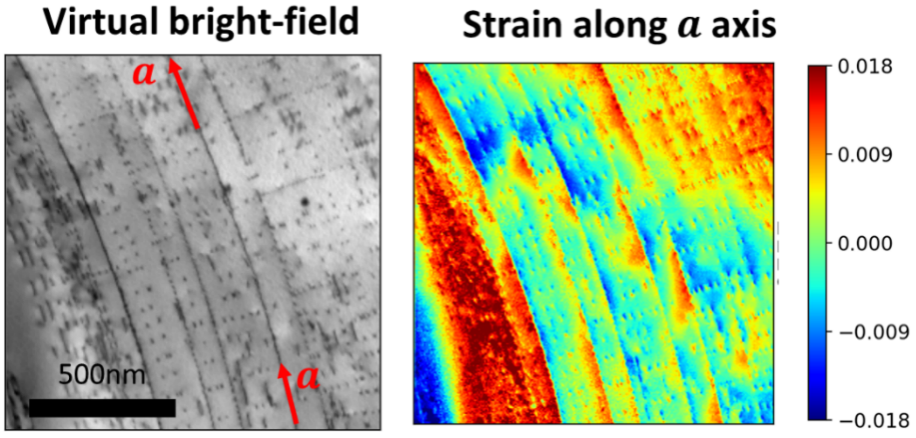


Figure 1: Strain measurement along the a axis in a Cr_2AlC sample. The a axis rotates following the lines of dislocations, as indicated on the bright-field image.

P08

Comportement sous irradiation des alliages de Zr revêtus de Cr

Joël RIBIS[1]

1 CEA - Université Paris-Saclay, Services de Recherches en Matériaux et procédés Avancés
CEA Saclay - Gif-sur-Yvette - France. Courriel : joel.ribis@cea.fr

Les alliages de zirconium sont communément utilisés dans l'industrie nucléaire comme matériau de gainage du combustible des réacteurs à eau pressurisée. En conditions accidentelles, par exemple dans le cas de la perte de réfrigérant primaire, les gaines de zirconium s'oxydent fortement au contact de la vapeur d'eau. Cette oxydation a pour conséquences de dégrader les propriétés mécaniques des alliages mais aussi de produire de l'hydrogène, pouvant devenir explosif, comme cela fût le cas dans l'accident de Fukushima-Daiichi.

Afin d'améliorer la sûreté des centrales, notamment dans le cas de perte de réfrigérant primaire, le CEA a développé un nouveau concept de gaines innovantes, à savoir les alliages de zirconium revêtus de Cr. Déposé par un procédé physique en phase vapeur, la couche protectrice de Cr limite l'oxydation de la gaine de zirconium en cas d'accident et autorise un délai de grâce supplémentaire pour noyer le réacteur. Cependant, en condition nominale, le dépôt de Cr subira les effets d'irradiation induits par les neutrons rapides. Afin d'éviter tous risques de désquamation du dépôt, une compréhension des effets d'irradiation à l'interface entre le revêtement de Cr et le substrat de Zr est primordiale pour garantir son adhésion en fonctionnement.

Les études par microscopie électronique en transmission ont révélé la formation d'une phase de Laves à l'interface, de type $Zr(Fe, Cr)_2$, (Fig. 1a) provenant de l'interdiffusion entre les atomes de Zr et de Cr. Cette phase, polystructurée, se subdivise en nano domaines, alternants entre une structure hexagonale C14 et une structure cubique C15 (Fig. 1b). Sous irradiation aux ions, la phase interfaciale a présenté deux comportements distincts. Dans une première irradiation, cette dernière s'est épaissie, ne se composant plus que de la phase C14, qui s'est stabilisée au dépend de la phase C15 par une ségrégation d'atomes de Fe. Dans une seconde irradiation, la phase interfaciale s'est dissoute, accompagnée d'un phénomène contrintuitif, appelé « effet sharpening », conduisant l'interface à devenir de plus en plus abrupte. En revanche, aucun défaut de type cavité ne se s'est formé aux interfaces dans aucune des irradiations, confortant l'absence de risque de désquamation du dépôt.

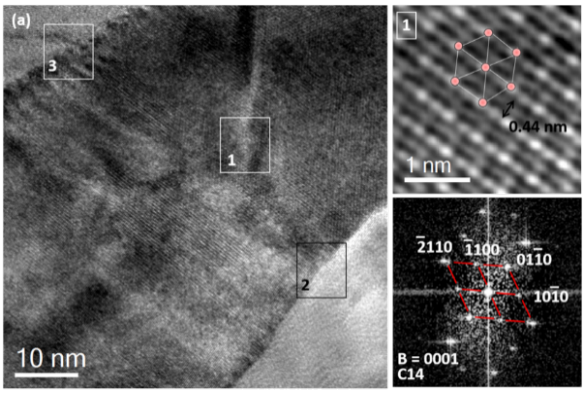


Fig. 1a
Image haute résolution de la phase de Laves interfaciale formée entre les atomes de Zr et Cr

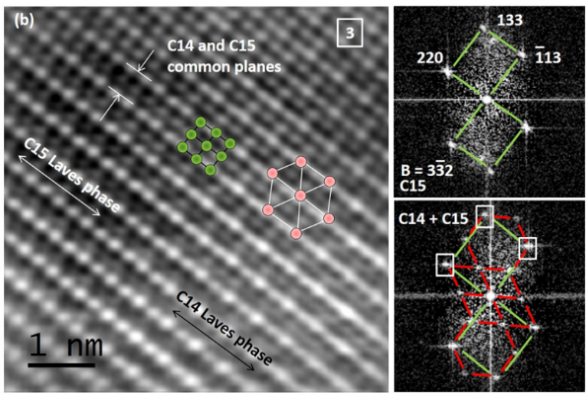


Fig. 1b
Image haute résolution de la zone notée 3 sur la Fig. 1a où apparaît la polystructure C14/C15 de la phase de Laves

T01 Intelligence artificielle et ses applications en microscopie électronique

Maxime MOREAUD[1]

1 IFP Energies nouvelles, rond-point de l'échangeur de Solaize, BP3, 69360 Solaize, France
Courriel : maxime.moreaud@ifpen.fr

Pour les applications liées aux images, l'IA est souvent associée aux réseaux de neurones convolutifs profonds [1]. Elle a révolutionné la manière dont nous analysons et interprétons les images complexes. Ces réseaux sont fondamentalement enracinés dans la recherche de similarités entre les données, ce qui les rend particulièrement adaptés à la microscopie électronique qui produit des images riches en détails et en structures, nécessitant une analyse approfondie à différentes échelles d'observation. Cette recherche de similarité est apprise automatiquement à partir des données.
Ces réseaux parviennent à extraire des caractéristiques pertinentes à partir des images, permettant ainsi de répondre à des problèmes variées (cf. Fig 1) :

- Pour la classification d'images, l'IA peut discerner différents types de structures atomiques avec une précision importante [2]. En utilisant l'apprentissage profond, il est possible d'entraîner ces réseaux à identifier des caractéristiques subtiles qui échappent souvent à l'œil humain.
- Les images microscopiques sont sujettes à diverses sources de bruit, altérant la qualité et la fiabilité des informations. L'IA intervient en réduisant le bruit directement à partir des données expérimentales [3], améliorant ainsi la clarté des images et la précision des analyses ultérieures.
- Enfin, la segmentation sémantique est également une application novatrice de l'apprentissage profond en microscopie électronique. La segmentation sémantique consiste à étiqueter chaque pixel d'une image avec la classe d'objet à laquelle il appartient. Les réseaux de type encodeur - décodeur sont particulièrement adaptés pour cette tâche, permettant une compréhension fine des structures présentes dans les images [4], ouvrant la voie à des études quantitatives approfondies.

Toutes ces problématiques seront illustrées avec des applications concrètes.

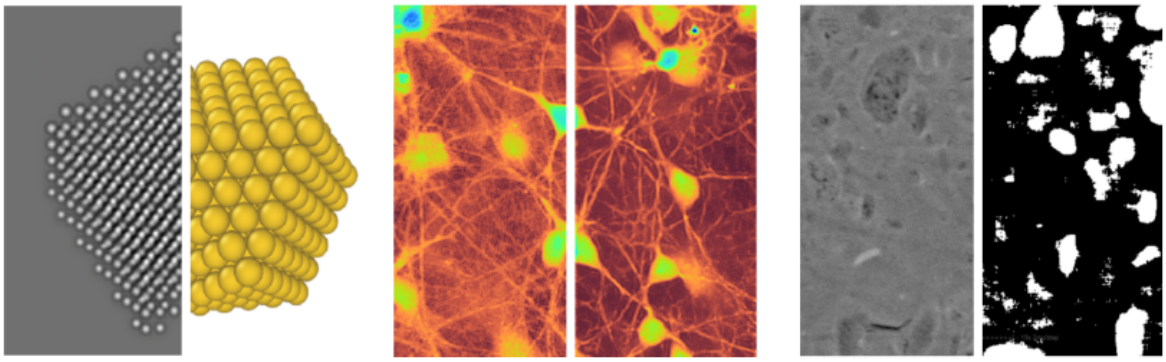


Fig. 1 : Illustrations de différentes thématiques applicatives résolues par apprentissage profond. A gauche, classification (ONERA, LEM, MPQ, IFPEN, ANR ARTEMIA) ; au centre réduction de bruit (CERVO Canada, IFPEN) ; et à droite segmentation sémantique (IFPEN, UCL London, IPCMS).

Références

1 Y. LeCun, Y. Bengio, G. Hinton, Deep learning, Nature 521 (7553) 436–444 (2015).
2 R. Moreau, H. Amara, M. Moreaud, J. Nelayah, D. Alloyeau, C. Ricolleau, R. Gatti. IRN Nanoalloys Non-Equilibrium and Environment Effects on Nanoalloys (2022).
3 J. Chaniot, M. Moreaud, C. Larivièrer-Loiselle, M. Haouat, M.E. Crochetière, E. Bélanger, P. Marquet. Frontiers in Neurophotonics Symposium (2022).
4 Hammoumi, M. Moreaud, C. Ducottet, S. Desroziers. Neurocomputing. 456, 481-91 (2021).

B03

Microscopie Electronique en Transmission sur les polymères

Xavier JAURAND[1], Pierre-Yves DUGAS[2]

1 Centre Technologique des Microstructures - Université Claude Bernard Lyon1
5 rue Raphael Dubois - Villeurbanne - France. Courriel : xavier.jaurand@univ-lyon1.fr
2 CP2M, UMR 5128 - CNRS-CPE Lyon- Université Claude Bernard Lyon1
43 boulevard du 11 novembre 1918 - Villeurbanne - France. Courriel : Pierre-Yves.DUGAS@univ-lyon1.fr

Le Centre Technologique des Microstructures (CTμ), est une plateforme de l'Université Claude Bernard Lyon1. Depuis de nombreuses années, le CTμ a développé un savoir-faire dans la caractérisation des polymères par microscopie électronique. Que ce soit pour de l'imagerie TEM en 2D ou en 3D (fig.1), cette présentation illustre à travers différents exemples les principales méthodes de préparation et d'observation : comment amincir des échantillons mous à température ambiante, et comment obtenir des contrastes dans des matériaux dont les différents constituants ont des numéros atomiques moyens quasiment identiques.

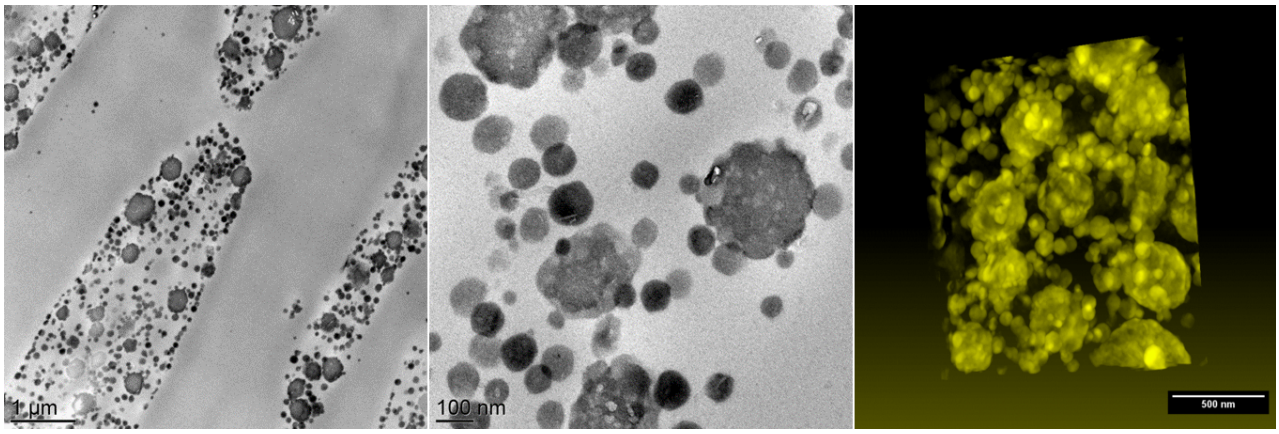


Fig. 1
Mélange PS-ABS. Imagerie TEM 2D (à gauche et au centre), et reconstruction 3D (à droite)

Pour des polymères dispersés dans un liquide (émulsion ou latex) qui sont souvent très sensibles à l'irradiation, le cryo-TEM est une des seules techniques d'imagerie qui permette de préserver les structures dans leur état natif (fig.2).

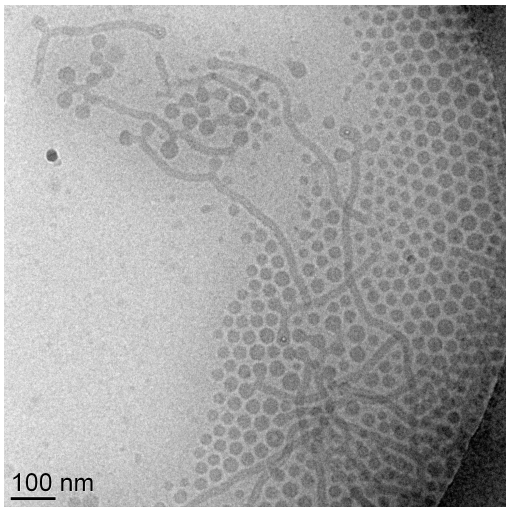


Fig. 2
cryoTEM sur une émulsion (Polymère dispersé dans l'eau)

P02

Introduction à la détermination de structures cristallographiques par diffraction électronique 3D

Stéphanie KODJIKIAN [1] et Christophe LEPOITTEVIN [1]

1 Institut Néel - CNRS et Université Grenoble Alpes
25 rue des Martyrs - 38000 Grenoble - France
stephanie.kodjikian@neel.cnrs.fr, christophe.lepoittevin@neel.cnrs.fr

Connaître l'organisation des atomes dans la matière est essentiel pour comprendre l'origine des propriétés chimiques, physiques ou biologiques d'un matériau. Jusqu'à ces dernières années, la détermination de la structure cristallographique était traditionnellement obtenue grâce à la diffraction des rayons X, la diffraction électronique étant quant à elle pénalisée par la très forte interaction électrons-matière et les effets dynamiques associés.

Or les dernières décennies ont été marquées par des développements techniques spectaculaires en microscopie électronique en transmission : précession du faisceau [1], expériences en tomographie [2,3], détecteurs rapides et sensibles, expériences cryogéniques. Ces développements ont radicalement transformé le champ des possibilités de la diffraction électronique, si bien que la diffraction électronique 3D est désormais l'outil de choix chaque fois que la diffraction des rayons X se heurte à ses propres limites, y compris en rayonnement synchrotron : monocristaux nanométriques aux structures trop complexes pour la diffraction des rayons X sur poudre, échantillons polyphasés, localisation des atomes d'hydrogène, etc… [4]

Après un bref rappel des évolutions techniques majeures des dernières décennies, nous présenterons les principales méthodes d'acquisition des données de diffraction électronique 3D actuellement utilisées. Puis, à partir d'exemples concrets, nous présenterons la démarche qui permet d'obtenir la structure atomique d'un composé.

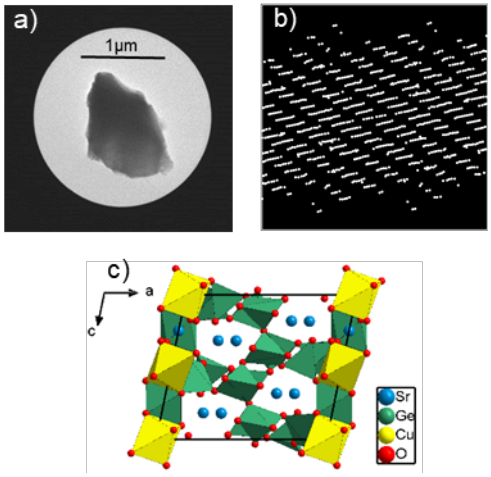


Fig. 1
a) Monocristal de structure inconnue.
b) Intensités diffractées correspondantes.
c) Structure du composé.

Références

1. R. Vincent and P. A. Midgley, "Double conical beam-rocking system for measurement of integrated electron diffraction intensities," *Ultramicroscopy*, vol. 53, no. 3, pp. 271–282, Mar. 1994, doi: 10.1016/0304-3991(94)90039-6.
2. U. Kolb, T. Gorelik, C. Kübel, M. T. Otten, and D. Hubert, "Towards automated diffraction tomography: Part I—Data acquisition," *Ultramicroscopy*, vol. 107, no. 6–7, pp. 507–513, Jun. 2007, doi: 10.1016/j.ultramic.2006.10.007.
3. U. Kolb, T. Gorelik, and M. T. Otten, "Towards automated diffraction tomography. Part II—Cell parameter determination," *Ultramicroscopy*, vol. 108, no. 8, pp. 763–772, Jul. 2008, doi: 10.1016/j.ultramic.2007.12.002.
4. M. Gemmi *et al.*, "3D Electron Diffraction: The Nanocrystallography Revolution," *ACS Cent. Sci.*, vol. 5, no. 8, pp. 1315–1329, Aug. 2019, doi: 10.1021/acscentsci.9b00394.

T02

Deep learning approaches for limited-angle electron tomography

Zineb SAGHI[1], Serge BROSSET[1] and Philippe CIUCIU[2]

1 CEA, LETI, Université Grenoble Alpes, Grenoble, 38054, France. Courriel : zineb.saghi@cea.fr
2 Univ. Paris Saclay, CEA-NeuroSpin, INRIA, Parietal, Gif-sur-Yvette, F-91191, France.
Courriel : philippe.ciuciu@cea.fr

Electron tomography (ET) plays an important role in the three-dimensional (3D) characterization of a variety of nanostructures. However, due to sample geometry, projections are often acquired within a limited angular range. In these conditions, ET reconstructions exhibit blurring/distortions (also called 'missing wedge' artifacts), which affect greatly the final resolution and reliability. Model-based approaches, such as compressed sensing (CS) [1], outperform classical algorithms for sparse-view acquisitions, but do not correct for the missing wedge artifacts [2].

In this work, we propose a deep learning (DL) approach to improve the quality of limite-angle ET reconstructions. We chose a deep neural network with U-Net architecture composed of four convolutional layers. A highly-sampled experimental dataset, consisting of 180 STEM-HAADF projections of a needle-shaped sample (*Er-doped porous Si structure)* [1], was used to train the model. Simultaneous iterative reconstruction technique (SIRT) was applied to generate the reference images obtained with the complete dataset (-90°:1°:90°), and the degraded ones obtained with an incomplete dataset (-60°:1°:60°). 500 2D reconstructions through the sample were used for the training of the DL model, and 50 for the validation step. The obtained DL model was then applied to improve the reconstruction of a 2D slice, unseen during training.

Figure 1(a) shows the SIRT reconstruction obtained with the full tilt range, and figure 1(b) the one affected by the missing wedge artefacts. CS with total variation minimization (CS-TV) improves slightly the quality of the reconstruction, but the blurring and feature elongation are still present (figure 1(c)). Figure 1(d) shows the restored image obtained with the DL approach. Compared to SIRT and CS, DL succeeds in retrieving fine details and correcting for the distortions of the pores and the overall needle shape. We also extracted the PSNR (peak signal-to-noise ratio) and SSIM (structural similarity index measure) values of the images, using the fully-sampled SIRT reconstruction (figure 1 (a)) as ground truth. A significant increase in both metrics is obtained with DL, suggesting that data-driven approaches are promising alternatives to model-based reconstruction methods.

In addition to limited-angle conditions, we will show that this approach is also promising for low-dose and fast electron tomography experiments.

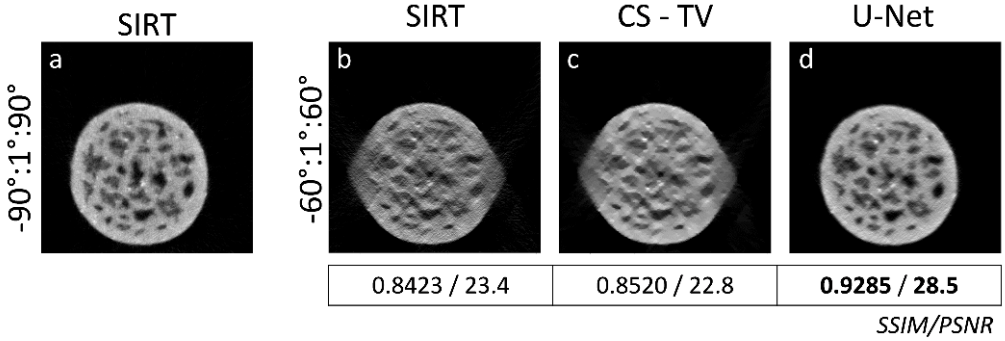


Fig. *1* (a) SIRT reconstruction of an Er-doped porous Si structure, using the full tilt range (-90°:1°:90°); (b-d) SIRT, CS-TV and DL reconstruction of the same slice using a limited tilt range (-60°:1°:60°). The SSIM and PSNR metrics are shown below each image.

Références

1. M. Jacob et al., Ultramicroscopy, 225 (2021) 113289.
2. Y. Jiang et al., Ultramicroscopy, 186 (2018) 94.

P07

STEM HR et EELS spatialement résolu pour l'identification in-situ d'un mécanisme de renversement ferroélectrique d'un ferrite de gallium

Xavier DEVAUX

Université de Lorraine, CNRS, Institut Jean Lamour - IJL
F54000 Nancy, France. Courriel : xavier.devaux@univ-lorraine.fr

Le ferrite de galium $Ga_{0.6}Fe_{1.4}O_3$ (GFO) est un matériau multiferroique à température ambiante dont l'intérêt a été récemment démontré pour la spintronique frugale.[1]. Bien qu'observée par différents groupes, sa ferroelectricité est contreversée en raison de sa structure $Pna2_1$ qui ne permet pas de mécanisme centrosymetrique de déplacement de certains ions pour de renversement de la polarisation, comme dans les perovskites.

La polarisation des grains de GFO est assez aisément identifiable par HR-STEM, comme l'identification des parois d'inversion de polarisation qui séparent deux domaines de polarisation opposées. Les murs de polarisation aparaissent traverser de nombreux grains. Cependant, les images STEM ne permettent pas de comprendre la rupture de l'ordre ionique qui est nécessaire pour le maintien de la continuié structurale dans la zone d'inversion de polarisation. Les cartographies chimiques issues de spectrométrie de perte d'énergie spatialement résolue permettent de visualiser l'ordre ionique, avec le fer uniquement dans des sites octaédriques et le gallium uniquement dans des sites tétraédriques du réseau d'oxygènes. Deux diférents arrangement des sites Oh et Td ont été identifiés pour des murs d'inversion de polarisations face à face ou dos à dos. Le déplacement de ces deux types de paroi d'inversion de de polarisation a été inité par irradiation prolongée avec le faisceau du microscope et enregistré à l'échelle atomique en réalisant des images STEM pour différents temps d'irradiation. Il a été observé que le déplacement des parois se fait grâce à la formation de marches et de de sous-marches qui se déplacent. Les cartographies chimiques quantiatives permettent de voir un désordre chimique entre les sites Oh et Td dans la zone du mur qui se déplace, et uniquement dans cette zone, la zone balayée par la paroi retrouvant ensuite un arrangement chimique normal. Ces observations suggèrent un mécanisme basé sur de la diffusion à courte distance entre site Td et Oh pour expliquer le renversement de polarisation [2].

En complément de l'exposé « accadémique », je présenterai quelques « trucs et astuces » qui ont permis l'observation in situ à haute résolution spatiale de la migration de défauts étendus, et l'utilisation de plugins pour le traitement des données.

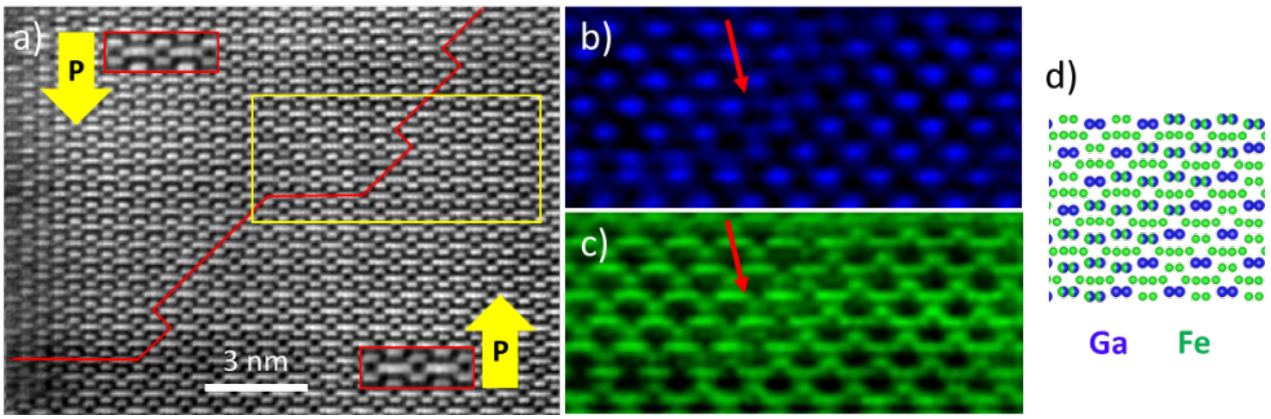


Figure 1 : a) image STEM HAADF d'une paroi d'inversion de polarisation « face à face » après son déplacement sous l'effet d'une irradiation prolongée, le désordre ionique est visible sur les cartographies, b) du gallium, c) du fer, d) représentation schématique de la distribution ionique dans la « marche » de la paroi d'inversion de polarisation.

Références

[1] S. Homkar et al., ACS Appl. Electron. Mater., **3** (2021), p. 4433
[2] A. Demchenko et al., Acta Materialia, **240** (2022), p. 118337

J01

« Le Service Technique JEOL »
Organisation - Prestations - Actualités

Jean-Eudes TAGNE

JEOL (EUROPE) SAS
Espace Claude Monet - 1 allée de Giverny - Croissy sur Seine - France
Courriel : tagne@jeol.fr

La pluridisciplinarité des utilisateurs d'instruments commercialisés par JEOL regorge de potentiels qui dynamisent l'activité de nos techniciens et ingénieurs. A ce titre elle suscite une adaptation régulière aux besoins de chaque client dans son environnement de travail, ainsi qu'une personnalisation des services délivrés. Dans ce contexte, plusieurs challenges se posent, entre autres : l'établissement d'une organisation régionale alliant proximité rapidité et efficacité, une maintenance fiable et durable des instruments de notre parc d'activité dans un état opérationnel satisfaisant, ainsi qu'un accompagnement adapté aux utilisateurs faisant face à l'évolution de leurs usages et compétences.
Cette présentation sera donc axée sur l'ensemble des initiatives et ressources mobilisées par JEOL et destinées à adresser les défis énoncés supra ; tout ceci dans une optique d'amélioration continue indispensable pour atteindre nos objectifs de satisfaction clientèle.

Jour 2

Mercredi 27 septembre 2023

Lieux variables selon les ateliers
Hôtel Europôle / LMGP ou Campus Universitaire (Saint-Martin d'Hères)

Matin

09h00 - 12h15 : **Ateliers pratiques**

A01 ▶ Laetitia RAPENNE	| Lieu : LMGP - Minatec
A02 ▶ S. KODJIKIAN et C. LEPOITTEVIN	| Lieu : Hôtel Europôle
A03 ▶ Muriel VERON et Edgar RAUCH	| Lieu : Campus Universitaire
A04 ▶ Maxime MOREAUD et Virgile ROUCHON	| Lieu : Hôtel Europôle

12h30 - 14h00 : Déjeuner sur place

Après-midi

14h15 - 15h30 : **Présentations orales**

14h00 - 14h25	**B01**	▶ Kahina VERTCHIK, LPS Orsay
14h25 - 14h50	**P06**	▶ Stéphanie REYNAUD, LHC - Saint-Etienne
14h50 - 15h15	**J02**	▶ Guillaume BRUNETTI, JEOL Europe SAS - Croissy

15h30 - 15h45 : Pause
15h45 - 16h30 : Assemblée Générale du Cercle des Microscopistes JEOL
16h30 - 19h30 : Activité extra-scientifique (en fonction de la météo)
19h30 - 22h00 : Dîner Restaurant

A01

Préparation de lames minces par amincissement mécanique Multiprep. Apport de l'amincissement ionique PIPS II en fonction du type d'échantillon

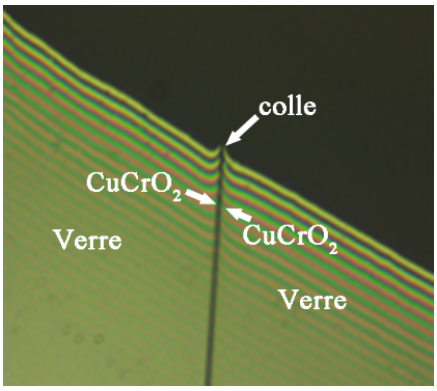
RAPENNE Laetitia

UGA, CNRS, Grenoble INP, LMGP, 38000 Grenoble, France
3, Parvis Louis Néel, CS50257 38016 GRENOBLE Cedex 1
laetitia.rapenne@grenoble-inp.fr

Cet atelier offre l'occasion de découvrir la technique de polissage « Multiprep semi-automatique » permettant d'obtenir des lames très minces de façon plus reproductible et rapide que la méthode classique tripode manuelle et ceci à faible coût.

Cette technique permet de préparer un grand nombre d'échantillons durs en vue transverse ou en vue plane sans amorphisation nécessaires aux observations en imagerie haute résolution. Nous verrons l'apport d'un amincissement ionique (PIPS II) final à basse tension en fonction du type de matériau.

Multiprep System



Franges d'égale épaisseur observées au microscope optique en fin de polissage en vue transverse pour un film mince $CuCrO_2$ (80 nm) sur substrat verre.

A02

Diffraction électronique 3D - Résolution de structure

Christophe LEPOITTEVIN [1] et Stéphanie KODJIKIAN [1]

1 Institut Néel - CNRS et Université Grenoble Alpes
25 rue des Martyrs - 38000 Grenoble - France
christophe.lepoittevin@neel.cnrs.fr, stephanie.kodjikian@neel.cnrs.fr

Cet atelier fait suite à la présentation P02 « Introduction à la détermination de structures cristallographiques par diffraction électronique 3D ».

Dans cet atelier, nous proposons aux stagiaires de résoudre la structure d'un échantillon inconnu par la technique de tomographie en précession (fig. 1), à partir de données de diffraction électronique enregistrées au préalable sur le microscope JEOL NEO ARM de l'Institut Néel. Les stagiaires procéderont à toutes les étapes de la résolution de structure. Ils utiliseront pour cela les programmes PETS2 [1] et JANA 2020 [2].

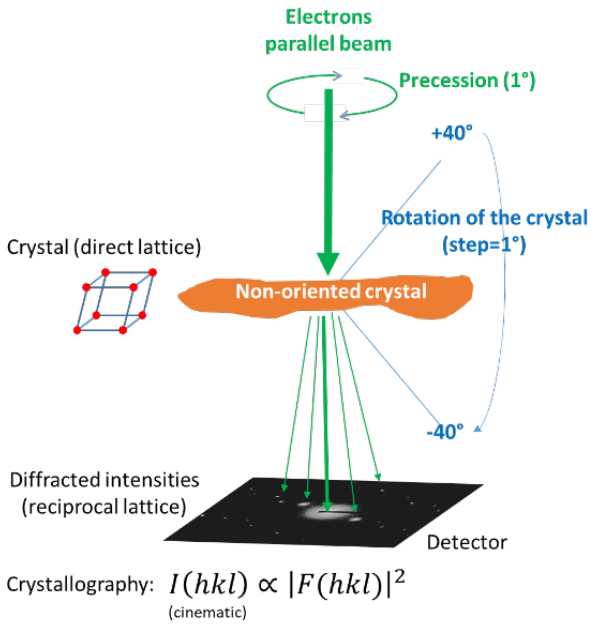


Fig. 1 Schéma d'une expérience de diffraction électronique 3D en tomographie avec précession du faisceau d'électrons

Références

1. L. Palatinus *et al.* (2019) *Acta Crystallographica B*, **75**, 512-522
2. V. Petricek *et al.* (2023). *Z. Kristallogr*. **229 (5)**, 345-352

A03

Cartographie automatique des orientations cristallographiques et des phases à l'échelle nanométrique : l'outil ASTAR pour microscope électronique en transmission

Muriel VERON, Edgar RAUCH

Laboratoire SIMAP, Grenoble INP, UGA, Grenoble
1130, rue de la piscine, Domaine Universitaire, BP75,
38402 Saint-Martin d'Hères

Cet atelier a pour objectif de familiariser les participants à l'utilisation de l'outil « ASTAR ».
Cet équipement permet de tracer automatiquement des cartes d'orientations cristallographiques et de phases à partir des clichés de diffraction enregistrés sur un microscope électronique en transmission en mode balayage. Il utilise pour ce faire une technique de reconnaissance des figures de diffraction par comparaison avec leurs signatures théoriques (« template ») calculées préalablement. Ces cartes permettent la caractérisation structurale des matériaux multi-phasés et polycristallins à l'échelle nanométrique.
L'atelier débutera par une description du mode opératoire et des techniques d'analyse associées (précession, template matching, images virtuelles, cartes de corrélation, …) et se poursuivra par deux séances pratiques l'une d'acquisition, l'autre de traitement des données sur stations de travail à l'aide des logiciels constitutifs de l'outil ASTAR.

Programme

- Présentation de l'outil ASTAR (45 min)
- Session pratique I : acquisition des données sur le MET JEM-2100F (45 min)
- Session pratique II : analyse des données sur ordinateurs sur PC 90 min

- Effectif : 10 participants (2 groupes de 5)
- PC portable requis (ou mac avec émulateur PC)
- Installation de logiciels et d'une licence (temporaire) requise **AVANT l'atelier** (via edgar.rauch@grenoble-inp.fr et sur la base de la liste et les adresses de courriel des participants)
- La séance sur le microscope électronique sera dédoublée (2 groupes de 5)
- Rotation des groupes :

	Groupe A (5 personnes)	**Groupe B** (5 personnes)
9h - 9h45	Présentation ASTAR	Acquisition des données (MET)
9h45 - 10h30	Acquisition des données (MET)	Présentation ASTAR
10h30 - 10h45	Pause	
10h45 - 12h15	Analyse des données sur PC	

A04

Traitement complet d'images avec plug im! Illustration d'une méthode de segmentation et de débruitage des données utilisant l'intelligence artificielle

Maxime MOREAUD1, Virgile ROUCHON[1]

1 IFP Energies nouvelles, rond-point de l'échangeur de Solaize, BP3, 69360 Solaize, France
Courriel : maxime.moreaud@ifpen.fr

Cet atelier propose une exploration approfondie du traitement complet d'images en utilisant l'intelligence artificielle, en se concentrant sur les méthodes de segmentation et de débruitage. L'objectif est d'illustrer la capacité des réseaux de neurones convolutifs profonds dans ces domaines, tout en fournissant aux participants les compétences nécessaires pour réaliser ces procédures de manière autonome.

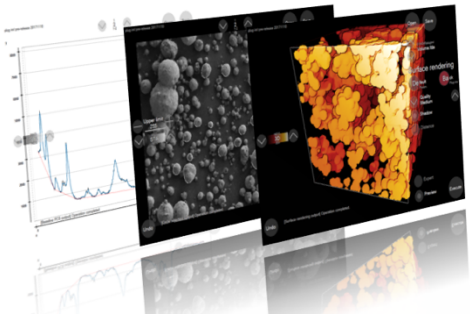
L'atelier débutera en exposant une approche similaire pour la segmentation sémantique d'images et la réduction de bruit, deux tâches cruciales en traitement d'images. L'utilisation de réseaux de neurones convolutifs profonds de type encodeur-décodeur sera présentée comme la pierre angulaire de cette méthode.

En premier lieu, les participants réaliseront l'apprentissage complet à partir de zéro des réseaux de neurones convolutifs profonds. Ils seront guidés à travers un processus d'entraînement avec une procédure de découpage par patchs [1] permettant un apprentissage avec très peu d'images, depuis la préparation des données jusqu'à l'évaluation des modèles obtenus. L'ensemble sera réalisé en langage Python, avec l'environnement Jupyter Notebook, garantissant une expérience pratique et interactive.

Les participants aborderont ensuite la conversion des réseaux de neurones convolutifs entraînés pour une utilisation simplifiée avec la plateforme plug im! [2] (Fig. 1). Ils pourront ainsi tester facilement les réseaux entrainés sur de nouvelles images non utilisées pendant l'étape d'entrainement.

Pour garantir une participation fluide, les organisateurs fourniront une procédure détaillée d'installation des environnements nécessaires, les codes sources utilisés lors de l'atelier, ainsi que des données exemples. Les participants pourront utiliser leurs propres PC personnels sous environnement Windows pour suivre l'atelier de manière pratique et immersive.

En conclusion, cet atelier vise à offrir aux participants une expérience complète et pratique dans l'utilisation de l'apprentissage profond, illustré pour la segmentation sémantique et le débruitage d'images. Par une approche guidée et pratique, les participants seront en mesure d'acquérir des compétences exploitables et de tester leur compréhension des réseaux de neurones convolutifs profonds, tout en bénéficiant de l'efficacité de la plateforme plug im! pour leurs futurs projets de traitement d'images.



plug *im!*

Fig. *1*: La plateforme plug im!, plateforme de traitement des signaux et des images d'IFP Energies nouvelles (www.plugim.fr), sera utilisée pour l'utilisation pratique des réseaux de neurones convolutif profonds entrainés pendant l'atelier par les participants.

Références

1. A. Hammoumi, M. Moreaud, C. Ducottet, S. Desroziers. Neurocomputing. 456, 481-91 (2021)
2. ''Plug im!'' an open access and customizable software for signal and image, URL: https://www.plugim.fr

B01

Morphogenèse des tores d'ADN condensé : résultats préliminaires de microscopie en phase liquide

Kahina VERTCHIK[1,2], Dris IHIAWAKRIM[3], Ovidiu ERSEN[3] et Amélie LEFORESTIER[1]

1 JEOL Europe (SAS), 1 Allée de Giverny, 78290 Croissy
Courriel : kahina.vertchik@universite-paris-saclay.fr
2 Laboratoire de Physique des Solides - Université Paris-Saclay, UMR 8502
Rue Nicolas Appert - Orsay - France
Courriel : amelie.leforestier@universite-paris-saclay.fr
3 Institut de Physique et Chimie de Strasbourg - Université de Strasbourg, UMR 7504
23 rue du Loess - Strasbourg - France
Courriel : ovidiu.ersen@ipcms.unistra.fr

Les tores d'ADN sont des objets cristallins liquides formés spontanément lors de la condensation de la molécule d'ADN in vitro. Ces objets sont des modèles du repliement des chromosomes dans certains virus à ADN double brin et les spermatozoïdes. Ils inspirent également des dispositifs de nano-ingénierie. Leur structure et leur mécanisme de formation sont encore mal compris malgré de nombreux travaux théoriques et de simulations [1]. Pour étudier ces objets, nous utilisons un système original, le couple bactériophage/récepteur bactérien qui permet de déclencher l'éjection de l'ADN des capsides de bactériophages in vitro, et de suivre la formation des tores au fur et à mesure (Figure). A l'aide de la cryo-microscopie électronique en transmission (cryo-MET), nous analysons leur structure à l'échelle moléculaire, et suivons leur morphogénèse par trempe à différents temps.
Bien qu'elle reste inégalée dans sa capacité à résoudre les structures natives des macromolécules et des complexes macromoléculaires, la cryo-MET ne permet pas directement l'accès à la dynamique des systèmes. Nous mettons en place la microscopie électronique en phase liquide, une technique émergente, avec des résultats spectaculaires sur les matériaux inorganiques. Son application dans le domaine de la biologie et de la matière molle reste un défi [3]. Les tores d'ADN sont des objets idéaux pour explorer ses potentialités pour l'étude de la dynamique des processus biologiques. Nous souhaitons ainsi suivre la formation et la croissance des tores dans leur état liquide natif depuis les premières étapes de l'éjection de l'ADN, la nucléation d'une boucle et la croissance du tore jusqu'à sa forme d'équilibre. Les expériences préliminaires d'imagerie des bactériophages en phase liquide, première étape de ce programme, seront présentées.

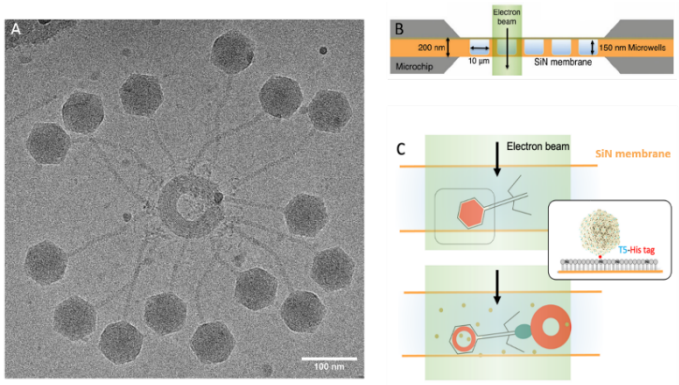


Figure. (A) Tores d'ADN observés après vitrification. Le tore est entouré de capsides pleines et de capsides en début d'éjection (B) Principe de la microscopie électronique en phase liquide. Les objets en solution sont enfermés dans une cellule (ou « microwell»), isolée de la colonne du microscope par des membranes transparentes de SiN (C) Projet d'imagerie de bactériophages, avec éjection d'ADN et formation de tores. Les bactériophages seront immobilisés à l'aide d'un « tag » histidine lié à un lipide-Nickel inséré dans une monocouche lipidique.

Références

1. Barberi L, Livolant F, Leforestier A, & Lenz M. Local structure of DNA toroids reveals curvature-dependent intermolecular forces. Nucleic Acids Research, 49(7), 3709-3718. 2021
2. Kelly DF, DiCecco LA, Jonaid GM, Dearnaley WJ, Spilman MS, Gray JL, Dressel-Dukes MJ. Liquid-EM goes viral – visualizing structure and dynamics. Curr Opin in Struc Biol. 75, 102426, 2022
3. Dukes MJ, Thomas R, Damiano J, Klein KL, Balasubramaniam S, Kayandan S, Riffle JS, Davis RM, McDonald SM, Kelly DF. Improved microchip design and application for in situ transmission electron microscopy of macromolecules. Microsc Microanal. 2014 Apr;20(2):338-45

P06

Apport des techniques HR STEM EELS / EDS à l'ingénierie des surfaces

Stéphanie REYNAUD[1], Anthony NAKHOUL[1, 2], Mathilde PRUDENT[1], Jérôme CAPITOLIS[3], Yaya LEFKIR[1], Claire MAURICE[2], Yves JOURLIN[1], Jean-Philippe COLOMBIER[1] et Florence GARRELIE[1]

1 UJM-Saint-Etienne, CNRS, IOGS, Laboratoire Hubert Curien, UMR5516
St-Etienne 42023, France. Courriel stephanie.reynaud@univ-st-etienne.fr
2 Univ Lyon Mines Saint-Etienne, CNRS, Centre SMS, Laboratoire Georges Friedel, UMR5307
St-Etienne 42023, France. Courriel : anthony.nakhoul@emse.fr
3 Univ Lyon, CNRS, Ecole Centrale de Lyon, INSA Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, CPE Lyon, INL, UMR5270
Ecully 69130, France

Les surfaces structurées à l'échelle sub-micrométrique permettent de fabriquer des dispositifs pour la dépollution de l'air ou le contrôle biologique des surfaces. La maitrise des paramètres des procédés lors de la mise en œuvre des surfaces et la compréhension de leurs propriétés physico chimiques est un enjeu pour contrôler leur architecture à l'échelle nanométrique, et donc leurs propriétés physico-chimiques. Au travers d'exemples choisis, l'exposé démontre comment la caractérisation par microscopie électronique en transmission contribue à la caractérisation de ces surfaces.

Deux méthodes de structuration ont été investiguées. D'une part, les techniques de dépôt et de lithographie ont été appliquées à la structuration d'une surface de SiN + TiO2 [1]. D'autre part, un procédé d'irradiation laser femto-seconde contrôlée en temps et en polarisation a été appliqué au traitement de deux surfaces différentes : matrice de verre métallique criblée de nano-puits en oxyde de zirconium [2], structuration d'un film de nickel [3].

Les techniques HR-STEM EELS et EDS d'un MET analytique JEOL NEOARM corrigé sonde sont utilisées pour caractériser les procédés de microstructuration et les mécanismes d'auto-organisation des surfaces.

Les analyses chimiques et structurelles expliquent les propriétés photocatalytiques ou la fonction biologique des surfaces, par l'identification des phases et la morphologie des structures (Fig. 1).

Pour les 2 surfaces auto-organisées par un procédé laser femtoseconde double pulse, les mécanismes en jeu sont identifiés et il est démontré que les nanostructures crées vont contribuer physiquement et chimiquement aux fonctions biologiquement actives des surfaces traitées (Fig. 2).

Ces travaux, qui utilisent des techniques de microscopie électronique analytique, permettent de comprendre des phénomènes complexes d'interaction lumière/matière et mettent en évidence que l'architecture structurelle et chimique des surfaces à l'échelle nanométrique permet de moduler les propriétés physico-chimiques des surfaces.

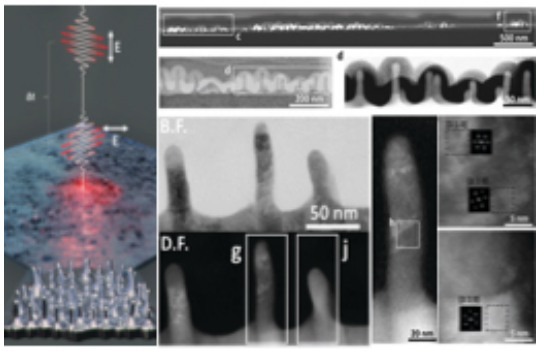


Fig. *1*
Nanopics auto-organisés (Ni)

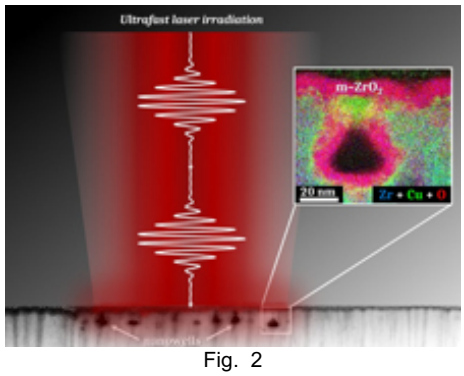


Fig. 2
Nanopuits auto-organisés (verre métallique)

Références

1. J. Capitolis, Nano Select 2021;1–10
2. M. Prudent, Nano-Micro Lett. (2022) 14:103
3. Nakhoul, Adv. Sci. 2022, 2200761 doi 10.1002/advs.202200761

J02

« JEOL News »
Nouveautés instrumentales de la Société JEOL

Guillaume BRUNETTI[1]

1 JEOL (EUROPE) SAS
Espace Claude Monet - 1 allée de Giverny - Croissy sur Seine - France
Courriel : brunetti@jeol.fr

Dans cette présentation nous aborderons les dernières nouveautés développées par JEOL dans le domaine de la microscopie électronique en transmission.
Les domaines de la biologie et de la science des matériaux seront abordés.

Fig. 1
NEOARM

Fig. 2
CRYO ARM™ 300 II

Jour 3

Jeudi 28 septembre 2023

Hôtel Europôle
29 Rue Pierre Semard
38000 Grenoble

Matin

09h00 - 10h30 : **Présentations orales**

09h00 - 09h25 B02 ▶ Nicolas TRIOMPHE, CBS Montpellier
09h25 - 09h50 P01 ▶ Martien den HERTOG, Institut Néel - Grenoble
09h50 - 10h15 P11 ▶ Aurélien MASSEBOEUF, CEA - Grenoble
10h15 - 10h40 P10 ▶ Estève DROUILLAS, STMicroelectronics - Crolles

10h30 - 11h00 : Pause-café

11h05 - 12h20 : **Présentations orales**

11h05 - 11h30 P09 ▶ Jean-Gabriel MATTEI, STMicroelectronics - Crolles
11h30 - 11h55 P05 ▶ Dris IHIAWAKRIM, IPCMS - Strasbourg
11h55 - 12h20 P04 ▶ Virgile ROUCHON, IFP Energies Nouvelles - Solaize

12h30 - 14h00 : Déjeuner à l'hôtel Europôle (ou panier repas)

Après-midi

14h30 : **Clôture des Journées CMJ**

B02

Conception de supra-assemblages moléculaires à base d'ADN

Nicolas TRIOMPHE[1,2], Guido RADEMAKER[2], Raluca TIRON[2] et Gaëtan BELLOT[1]

1 Centre de Biologie Structurale, INSERM, CNRS, Université de Montpellier, 34090, Montpellier, France.
Courriel : nicolas.triomphe@cbs.cnrs.fr ; gaetan.bellot@cbs.cnrs.fr
2 Univ. Grenoble Alpes, CEA, Leti, F-38000, Grenoble, France.

Qu'il s'agisse de système synthétiques ou biologiques, l'auto-assemblage moléculaire joue un rôle fondamental permettant de conférer des propriétés spécifiques à de nombreux matériaux. Ces propriétés englobent l'émergence de fonctionnalités déterminées, la création d'architectures sophistiquées, un haut degré d'organisation, ainsi que la compatibilité avec les systèmes biologiques. A des fins d'applications, la recherche actuelle se focalise sur l'emploi de ce principe pour réaliser des structures toujours plus petites et complexes, tout en réduisant les coûts associés. En ce sens, l'ADN (acide désoxyribonucléique) se révèle être un matériau prometteur. Grâce au faible diamètre de sa double hélice (2 nm) et en programmant l'appariement de ses bases, il peut s'auto-organiser en des nanostructures bi- ou tri-dimensionnelles avec une résolution nanométrique [1]. Je présenterai ces nanostructures appelées « origamis d'ADN ». Ces nanostructures fonctionnalisables offrent un éventail d'applications étendu, allant du biomédical [2] à l'élaboration de structures plasmoniques [3]. Une nouvelle approche basée sur l'auto-assemblage bottom-up de ces origamis d'ADN, que je vais exposer en détail, suscite un vif intérêt dans divers secteurs, dont celui des semi-conducteurs. Ce dernier recherche activement des masques de lithographie pour réaliser des motifs à l'échelle sub-10 nm.
En effet, même si les origamis d'ADN sont limités à des dimensions d'environ une centaine de nanomètres, il est possible d'atteindre des supra-assemblages en 2D et 3D ainsi que des objets à poids moléculaires élevé en assemblant les origamis entre eux [4, 5]. La complémentarité de forme, à l'image de pièces de puzzle qui s'emboîtent, est une stratégie très efficace pour cela, permettant la création de supra-assemblages réversibles et complexes [6]. Grâce à cette approche, nous avons développé de nouveaux origamis pour réaliser des motifs nanoscopiques périodiques en 1D (voir Fig. 1) et 2D (voir Fig. 2). En optimisant les conditions d'auto-assemblage de ces origamis, nous sommes parvenus à construire de très larges réseaux 2D, dépassant les 10 µm en taille.

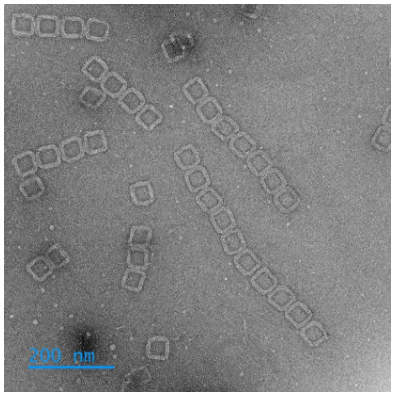


Fig. 1
Image de MET d'origamis d'ADN carrés s'auto-assemblant en lignes.

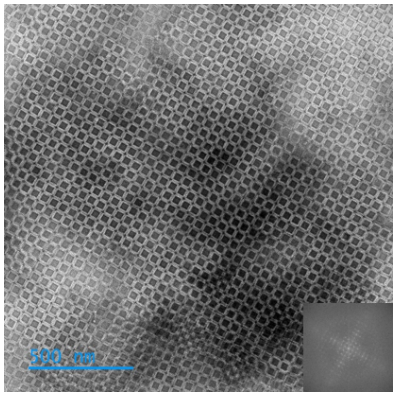


Fig. 2
Image de MET d'origamis d'ADN carrés s'auto-assemblant en un réseau 2D, barre d'échelle: 500 nm. L'encart en bas à droite est la FFT de l'image.

Références

1. P. W. K. Rothemund, « Folding DNA to create nanoscale shapes and patterns », Nature, vol. 44, n° 7082, p. 297-302, March 2006, doi : 10.1038/nature04586.
2. R. Veneziano *et al.*, « Role of nanoscale antigen organization on B-celle activation probed using DNA origami », Nature Nanotechnology, vol. 15, p. 716-723, June 2020, doi : 10.1038/s41565-020-0719-0.
3. B. Shen *et al.*, « Plasmonic nanostructures through DNA-assisted lithography », Science Advances, Sci. Adv., Vol. 4, Issue 2, February 2018, doi : 10 .1126/sciadv.aap8978.
4. G. Tikhomirov, P. Petersen, L. Qian, « Fractal assembly of micrometre-scale DNA origami arrays with arbitrary patterns », Nature, vol. 552, p. 67-71, December 2017, doi : 10.1038/nature24655.
5. Y. Ke, L. L. Ong, W. M. Shih, P. Yin, « Three-dimensional structures self-assembled from DNA bricks », Science, vol. 338, p. 1177-1183, November 2012, doi : 10.1126/science.1227268.
6. T. Gerling *et al*, « Dynamic DNA devices and assemblies formed by shape-complementary, non-base pairing 3D components », Science, vol. 347, p. 1446-1452,March 2015, doi : 10.1126/science.aaa5372.

P01

In situ biasing dans un TEM

Bruno CESAR DA SILVA[1], Zahra SADRE MOMTAZ[1], Yiran LU[1], Pascale GENTILE[5], Eva MONROY[2], David COOPER[4], Jean-Luc ROUVIERE[3] and Martien I. DEN-HERTOG[1]*

1 - Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, Institut Néel, 38000 Grenoble, France
2 - Univ. Grenoble-Alpes, CEA, Grenoble INP, IRIG, PHELIQS, Grenoble, France
3 - Univ. Grenoble-Alpes, CEA-IRIG, MEM, Grenoble, France
4 - CEA, LETI, MINATEC, Grenoble, France

Various transmission electron microscopy-based techniques have the potential for quantitative characterization of the electric properties of a material at nm length scales. For example, off axis electron holography enables measuring the phase change of the electron wave, that can be directly related to the projected electrostatic potential. Four-dimensional scanning transmission electron microscopy (4D-STEM) has gained in popularity rather recently, thanks to the development of fast pixelated detectors over the last years, enabling the assessment of internal electric fields with high spatial resolution [1,2]. However, the measurement of long range built-in electric fields present in semiconductor devices, for example p-n junctions, are typically three orders of magnitude smaller than atomic electric fields, making the 4D-STEM experiments in such systems challenging. The main difficulty for both methods is that the electrical information is combined with material contrast (for example due to chemical gradients, thickness gradients or diffraction contrast) and the challenge resides in reliably separating these two. One possibility to facilitate this task it to use in-situ biasing, in order to increase (decrease) only the electrical part of the signal, and allow subtraction of a reference measurement to remove all material related contrast, see Figure 1. This kind of electrically contacted samples can be realized either using the focussed ion beam [1-4] or using electron beam lithography [5], and is used in combination with a dedicated electrical biasing sample holder for the TEM.
In this presentation we will show recent results we obtained using 4D STEM on semiconducting lamellae as well as nanowires containing a p-n junction. We will show a study on how the quantification, sensitivity and spatial resolution of electric field mapping in a silicon p-n junction are influenced by the acquisition parameters in a momentum resolved 4D-STEM experiment [3,6]. It was observed that the electric field precision is improved decreasing the semi-convergence angle. The results were invariable even using an electron dose as low as 24 e-/A^2 and a detection limit as good as 0.01 MV/cm was possible. In addition, in-situ electrical biasing coupled to momentum resolved 4D-STEM measurements were performed, see Figure 2, allowing to study the junction abruptness, to asses phenomena like dopant segregation or interdiffusion [4]. Finally, recent results on a p-n junction in a Ge nanowire will be presented.
This work paves the way for the development of advanced STEM based techniques able to provide imaging and quantification of built-in electric fields, potentials and charge densities in semiconductor devices with high spatial resolution, providing crucial feedback to improve growth/device fabrication processes.

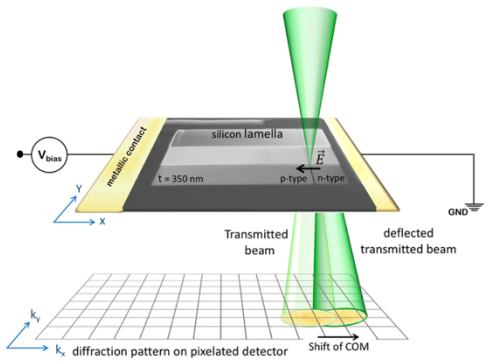


Figure 1 – Schematic of the momentum-resolved 4D-STEM experiment performed in a silicon p-n junction. Reverse bias is obtained by applying a negative bias ($-V_{bias}$) to the p-side while the n-side is grounded [5].

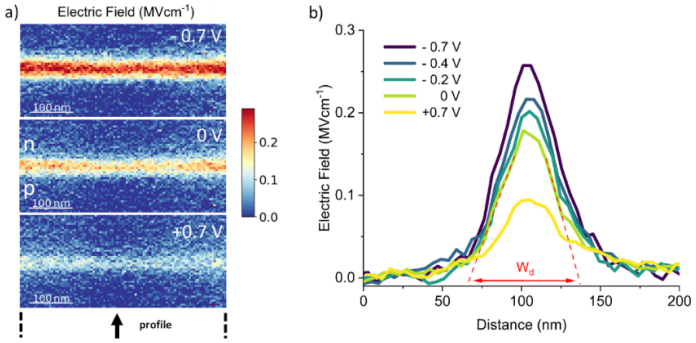


Figure 2 – In-situ biasing momentum resolved 4D-STEM electric field measurements in a silicon p-n junction [5].

Références

1. L. Bruas, V. Boureau, A.P. Conlan, S. Martinie, J.-L. Rouviere, and D. Cooper, J. Appl. Phys. **127**, 205703 (2020).
2. A. Beyer, M.S. Munde, S. Firoozabadi, D. Heimes, T. Grieb, A. Rosenauer, K. Müller-Caspary, and K. Volz, Nano Lett. **21**, 2018 (2021).
3. B.C. da Silva, Z.S. Momtaz, L. Bruas, J.-L. Rouviére, H. Okuno, D. Cooper, and M.I. den-Hertog, Appl. Phys. Lett. **121**, 123503 (2022).
4. B.C. da Silva, Z. Sadre Momtaz, E. Monroy, H. Okuno, J.-L. Rouviere, D. Cooper, and M.I. Den Hertog, Nano Lett. **22**, 9544 (2022).
5. M. Spies, Z. Sadre Momtaz, J. Lähnemann, M.A. Luong, B. Fernandez, T. Fournier, E. Monroy and M.I. den Hertog. Nanotechnology **31**, 472001 (2020).
6. S. Pöllath, F. Schwarzhuber, and J. Zweck, Ultramicroscopy **228**, 113342 (2021).

P11

“Easy” stroboscopy in a TEM using electrostatic blanking

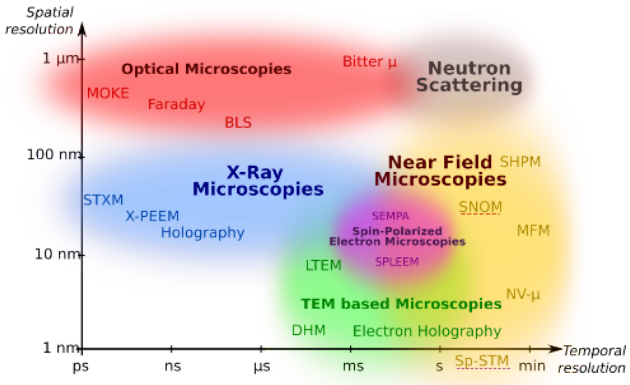
Aurélien MASSEBOEUF[1,3], Zdenek NEKULA[1], Eric GAUTIER[1], Christophe THIRION[2], Christophe GATEL[3], Florent HOUDELLIER[3]

1 SPINTEC – CNRS,CEA,UGA, Grenoble
2 Institut Néel – CNRS, Grenoble
3 CEMES – CNRS, UT3, Toulouse

Among state of the art of Magnetic Imaging techniques (MI) based on photon, x-rays, scanning probes, electrons are of particular interest to characterize material at the nanometer scale. Lorentz Transmission Electron Microscopy (LTEM) [1] and its high resolution counterpart Electron Holography (EH) [2] have proven their sustainability for achieving high resolution imaging along with a wide variety of external stimuli ranging from temperature [3] to biasing [4]. One of the most promising and challenging stimulus is to apply a high frequency magnetic signal (*GHz* range) [5,6] to a magnetic object to unveil its dynamic response around its common time scale : a typical example is a domain wall that may travel up to *km/s*, thus crossing a 10 *µm* TEM field of view in 10 *ns* (see Figure for spatial *Vs* temporal resolution review).

Beside this, there is nowadays a very intense activity in Ultra-fast Electron Microscopy (UEM) [7]. Dynamical imaging in a TEM was in fact initially developed as it will be there, by Bostansoglo [8] in the acoustic regime (kHz). It is based on the pump-probe approach where a delay is modulated between the excitation of the system (pump) and the short burst of the observation (probe) with a high repetition rate leading to a stroboscopic analysis. Nowadays lot of teams are actually working around the world on the development of laser-driven pump-probe (still some single shot experiments exist) TEM experiments in the femtosecond (*fs*) regime [9]. But first results on time resolved magnetic imaging with UEM still take time to show up. Interesting UEM works in MI are very few, from the very first paper by Zewail’s group [10] to most recent ones by Roper’s [11] are simple experiments that are only relying on instrumental concept proofs of known physic. The main reason is the huge complexity of the experimental design : not only the TEM in use has to be modified or bought accordingly such need, but the sample also has to fulfills a lot of constrains, from the conventional TEM lamella ones to the expected dynamic compliance both from its electrical and magnetic properties.

Here we propose to show how such time-resolved experiment could be easily implemented in an existing microscope with no fundamental instrument modifications and without expansive electronic to be used. Our demonstration will be drawn using theory and experiment carried on a JEOL 3010 LaB_6 microscope. We obtained experimental timescale of 1 *ns* but demonstrated that our technique could reach the *ps* regime without dramatic changes. Our study opens the road to the easy implementation of such magnetic imaging on a more recent machine to unveil new physical effect, using the TEM as a standard tool for characterizing magnetic material at high spatial and frequential resolution.



Spatio-temporal diagram of available magnetic imaging techniques

Références

1. J. N. Chapman, J. Phys. Appl. Phys. 17, p. 623-647, 1984.
2. Tonomura, Rev. Mod. Phys. 59, p. 639-669, 1987.
3. Gatel et al., Nano Lett. 17, p. 2460-2466, 2017.
4. M. den Hertog et al., Nanotechnology, vol. 29, no 2, p. 025710, 2018
5. F. J. T. Goncalves et al., Sci. Rep. 7, p. 11064, 2017.
6. C. Gatel et al., J. Phys. Appl. Phys., vol. 49, no 32, p. 324001, 2016
7. D. Shorokhov et al., J. Chem. Phys. 144, p. 080901, 2016
8. O. Bostanjoglo et al. Opt. Acta Int. J. Opt., vol. 24, no 6, p. 657-664, 1977.
9. Arbouet et al., in Advances in Imaging and Electron Physics vol. 207 1–72 (Elsevier), 2018.
10. H. S. Park et al., Nano Lett. 10, p. 3796-3803, 2010.
11. Marcel Möller et al., Communications Physics vol 3, no 36, 2020

P10

Advanced EELS spectroscopy characterization of AlGaN/GaN based HEMT devices

Estève DROUILLAS[1,2], Bénédicte WAROT-FONROSE[2] et Jean-Gabriel MATTEI[1]

1 STMicroelectronics Crolles 2
850 Rue Jean Monnet, 38926 Crolles, France. Courriel : esteve.drouillas@st.com, jean-gabriel.mattei@st.com
2 Centre d'Elaboration de Matériaux et d'Etudes Structurales, CNRS,
29 rue Jeanne Marvig, BP 94347, 31055 Toulouse, France. Courriel : benedicte.warot@cemes.fr

Currently, in microelectronic industries, Scanning Transmission Electron Microscopy (STEM) coupled with X-Ray Energy-Dispersive Spectroscopy (XEDS) is routinely used for chemical characterization. While providing a broad energy range covering many elements, it is yet limited for the detection of light elements. Moreover, in some cases there can be overlapping of multiple peaks, further limiting the performance of this method to characterize semiconductor materials. Thus, analyzing core electron energy-loss spectrum (EELS) edges answers a need to characterize light elements as well as providing information on the atom's chemical environment through the analysis of Electron-Loss Near-Edge Structure (ELNES). This project is done in collaboration with STMicroelectronics R&D teams who are developing High-Electron Mobility Transistor (HEMT) devices for Radio Frequency (RF) applications based on $Al_xGa_{1-x}N$ semiconductors [1]. The investigation of these materials using EELS can already be found in the literature (cf. [2], [3]). Yet, the recent acquisition of a probe Cs-corrected JEOL Neo-ARM 200F equipped with a Cold-FEG and a Gatan GIF Continuum spectrometer allows to improve the quality of EELS spectrum acquired and thus enhance characterization of microelectronics components.

The HEMT device presented in this work is composed of an assembly of a GaN channel & AlGaN barrier structure separated by an AlN spacer of a few nanometers to tune polarization properties and improve the performance of the 2-Dimensional Electron Gas (2DEG) formed at the interface. To avoid stress in the active layers described above, an AlN nucleation layer is grown on a Si substrate followed by multiple buffer layers of $Al_xGa_{1-x}N$ with decreasing amount of Al to accommodate strain in the structure [Fig. 1]. In this work we propose to observe the variation of the nitrogen K edge ELNES structure along the buffer layer stack [Fig. 2], highlighting the transition between layers. The observation of the plasmon peak in valence region along the buffer stack [Fig. 3] also seems to demonstrate a linear dependency between the plasmon energy peak, E_p, and the composition of Al, x_{Al}, [Fig. 4] with improved R-squared value compared to the literature [4].

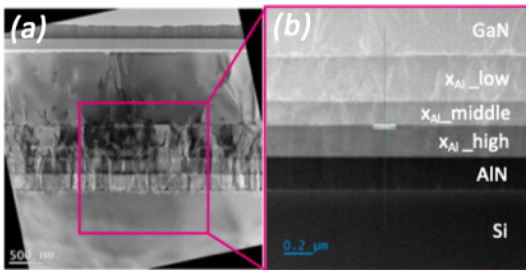


Fig. 1: (a) TEM micrograph of HEMT device, (b) STEM-HAADF image of the $Al_xGa_{1-x}N$ buffer layer stack

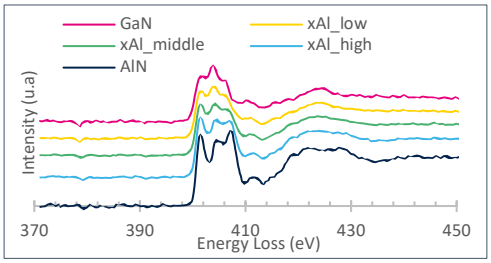


Fig. 2: ELNES analysis at nitrogen K edge along buffer layer stack

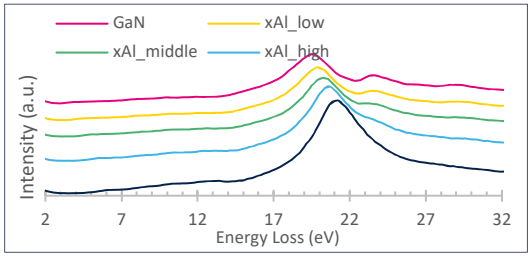


Fig. 3: ELNES analysis of the plasmon peak along buffer layer stack

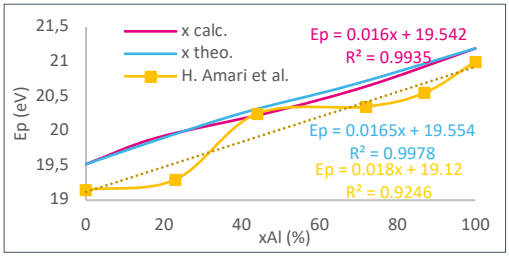


Fig. 4: E_p linear dependency over the composition of Al x_{Al} in $Al_xGa_{1-x}N$. $x_{calc.}$ is the composition obtained with EELS quantification and $x_{theo.}$ is provided by suppliers

Références

[1] *Nguyen, T.N. (2013). Réalisation et caractérisation de HEMTs AlGaN/GaN sur silicium pour applications à haute tension.* https://theses.hal.science/tel-00934655
[2] D. Holec et al., Micron, Vol. 39, Issue 6, 2008, Pages 690-697, ISSN 0968-4328, https://doi.org/10.1016/j.micron.2007.10.013.
[3] I. Tanaka et al., "XANES and ELNES in Ceramic Science." Journal of the American Ceramic Society 88 (2005): 2013-2029, DOI:10.1111/J.1551-2916.2005.00547.X.
[4] H. Amari et al., J. Phys.: Conf. Ser., vol. 326, no. 1, p. 012039, Nov. 2011, doi: 10.1088/1742-6596/326/1/012039.

P09

Utility of transmission electron microscopy and its associated spectroscopies for the characterization of microelectronic components

Jean-Gabriel MATTEI[1], Karen DABERTRAND[1], Tony PRINPTEMPS[1], Estève DROUILLAS[1,2] et Laurent CLEMENT[1]

1 STMicroelectronics, 850 rue Jean Monnet, 38926 Crolles Cedex, France
2 CEMES, 29 rue Jeanne Marvig 31055 Toulouse France

Nowadays, the use of transmission electron microscopy in microelectronic field enables to address accurate physical and chemical characterization or even to determine the root cause of an electrical failure. Indeed, this instrument allows to perform several types of chemical analyses owing to different spectrometers fitted with.

We will describe, here, how the JEOL NEO ARM can address certain issues specific to microelectronic components. For instance, the description of the chemical order will be addressed by EDS or using other associate technic such as the Electron Energy Losses Spectroscopy which aims to provide elemental and chemical information [1, 2]. In this present work, several specific cases will be presented to demonstrate how EDS can reveal a low rate of dopants and how EELS permits to point out specific oxidation (Fig.1). In particular, a study aimed to reveal the oxidation state of copper at Cu/SiO_2 hybrid bonding interface [3]. EELS investigations of the fine structure clearly revealed a self-formed Cu_2O barrier for the Cu/SiO_2 hybrid bonding integration. Furthermore, combining the spatial resolution of TEM and the acquisition of EELS fine structure mapping, allows to precisely measure an ultrafine copper oxide layer of only a few nanometers thick [4].

In some cases, an electrical failure could be related to a local strain. To succeed in revealing this strain, High Resolution TEM followed by GPA post-processing enables to evidenced local defects such as dislocations. Nevertheless, HRTEM imaging requires a limited field of view which also implies that the reference area is established in close proximity to the defect and is consequently strained as well. To overcome this challenge, Precession Electron Diffraction is employed to capture a wider field of view, allowing for the identification of extended defects (Fig. 2).

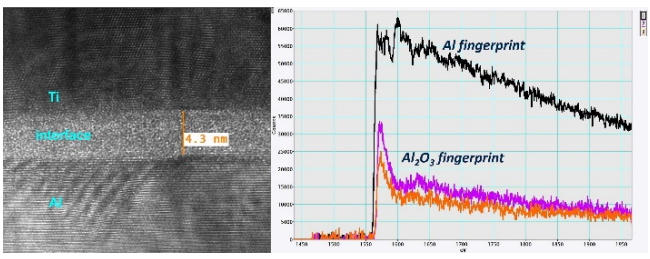


Fig. 1: High Resolution TEM of an Ti/Al interface and EELS spectra at Al K edge

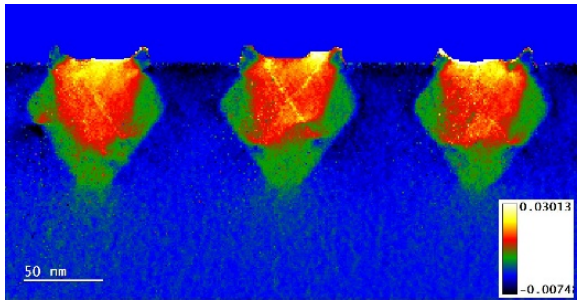


Fig. 2: Strain mapping along (220) planes of PMOS SiGe diamond

Références

1. GW Bailey, et al. Microscopy and Microanalysis 6.S2 (2000): 1050-1051
2. JP Barnes, et al. Journal of Physics: Conference Series. Vol. 26. No. 1. IOP Publishing, 2006.
3. B Ayoub, et al. 2022 IEEE International Reliability Physics Symposium (IRPS). IEEE, 2022
4. JG Mattei, R Bon, B Ayoub, S Lhostis, et al In 2023 IEEE International Interconnect Technology Conference (IITC) and IEEE Materials for Advanced Metallization Conference (MAM)(IITC/MAM) (pp. 1-3). IEEE.

P05

Microscopie électronique en phase liquide (LP-TEM) appliquée à l'étude in situ de la formation de nanomatériaux

Dris IHIAWAKRIM[1], Walid BAAZIZ[1], Vinavadini RAMNARAIN[1], Benjamin SAUTRON[1], Aziz ZEKHNINI[1], Charles SIDHOUM[1], Nathaly ORTIZ PENA[1], Mariana LONGUINHO[2,3], Gisele DALMONICO[2], Juliana GUIMARAES[3], Isabel GOMEZ RECIO[1], Fernanda ABREU[3], Andre ROSSI[2], Hervé BULOU[1], Clément SANCHEZ[4,5], Ovidiu ERSEN[1]

1 Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg (IPCMS), UMR 7504 CNRS – Univ. Strasbourg, 23 Rue du Loess, 67200 Strasbourg.
2 CBPF, Rua Dr Xavier Sigaud, 150- Urca I CEP: 22 290-180 I Rio de Janeiro, Brasil
3 UFRJ, Av Pedro Calmon, 550, Edificio da Reitoria, Iha de do Fundao, Rio de Janeiro, RJ, CEP 21941-901, Brasil
4 ICFRC, 8 allée Gaspard Monge, 67000, France
5 USIAS, Université de Strasbourg, France

Les nombreux développements récents autour de la technique LP-TEM (TEM en phase liquide), incluant une nouvelle instrumentation basée sur des portes objets dédiés ou des cellules fermées pour un porte objet standard ainsi que des nouveaux logiciels d'acquisition in situ, ont contribué à faciliter son implémentation dans le paysage des techniques avancées de microscopie électronique. Également, la réalisation des études par microscopie électronique en milieu liquide suscite de plus en plus d'intérêt grâce à la possibilité d'obtenir des informations morphologiques et structurales à une échelle nanométrique, et ceci en couplage à d'autres types de mesure qui peuvent être mis en place simultanément, comme les analyses électrochimiques ou par spectrométrie de masse. Dans ce contexte, bien que le suivi par microscopie électronique des systèmes d'étude dans des conditions dites « réelles » reste un défi du point de vue expérimental, les résultats sont particulièrement riches et permettent des avancées considérables dans les domaines concernés. En particulier, il est possible maintenant de visualiser en temps réel des mécanismes réactionnels impliquant des processus physico-chimiques tels que la nucléation, l'agrégation, la nanostructuration d'une phase nanométrique ou encore l'évolution structurale d'un électro catalyseur à l'interface entre le milieu et l'électrode. Ceci permet de comprendre et contrôler les propriétés d'intérêt des nanomatériaux et de faire le lien avec les transformations structurales subies durant leur formation ou utilisation dans des applications. Dans ce contexte, nous donnons un aperçu de quelques études par LP-TEM que nous avons réalisé récemment grâce à une cellule environnementale « liquide » utilisée comme réacteur de synthèse pour suivre la formation de plusieurs types de système physico-chimiques ou des processus sous-jacentes :

1) la synthèse des nanoparticules de magnétite par décomposition thermique radicalaire dans un milieu organique[1],
2) la nucléation et la croissance des nanostructures de type oxyde de zinc obtenues par co-précipitation à partir de différentes bases,
3) la formation des biomatériaux de type « calcite » par un processus de biominéralisation[2],
4) la croissance des particules de type « magnétosome » au sein des bactéries magnétotactiques (BMT)[3],
5) la formation des matériaux de type MOF (« metal organic framework »), particulièrement sensibles à l'irradiation électronique,
6) la cristallisation des particules de MgO obtenues dans des conditions de type « sels fondus »,
7) l'évolution structurale des particules d'oxyde métallique sous potentiel lectrochimique[4].

Enfin, nous abordons quelques pistes à envisager pour permettre d'améliorer la mise en œuvre de ce type d'étude, le bénéfice des approches d'intelligence artificielle pour l'analyse des données ainsi obtenues, ainsi que l'intérêt du couplage de cette approche in situ avec d'autres techniques complémentaires.

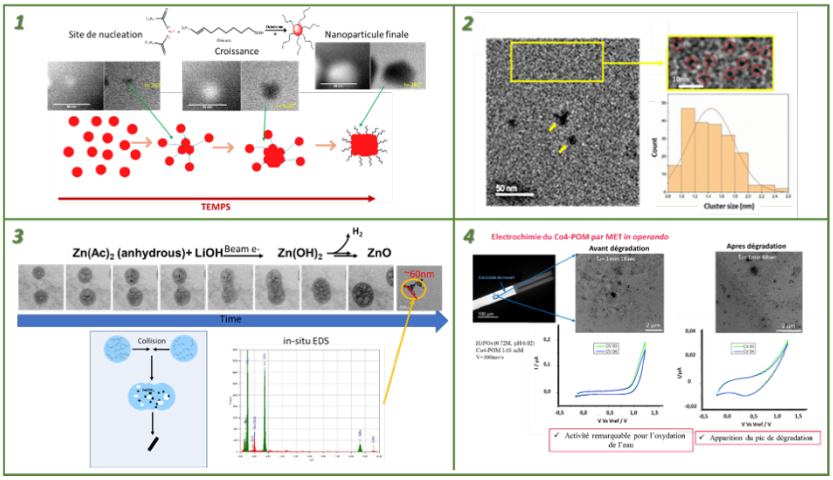


Fig : [1] Suivi de la formation d'une NP de ferrite à partir d'un site de nucléation [2] Image typique obtenue par LP-TEM après 3 minutes de réaction qui illustre la présence des nanoclusters individuels et agrégés de CaCO3 (flèches jaunes). [3] Représentation schématique de l'étude par LP-TEM illustrant l'évolution temporelle des processus de nucléation et de croissance des NPs de ZnO par coprecipitation. [4] Suivi de l'évolution d'un électrocatalyseur en conditions de réaction.

Références

1. Peña, N. O., Ihiawakrim, D., Cretu, S., Cotin, G., Kiefer, C., Begin-Colin, S., Sanchez, C., Portehault, D., & Ersen, O. (2022). In situ liquid transmission electron microscopy reveals self-assembly-driven nucleation in radiolytic synthesis of iron oxide nanoparticles in organic media. Nanoscale, 14(30), 10950. DOI/10.1039/d2nr01511k

2. Ramnarain, V., Georges, T., Peña, N. O., Ihiawakrim, D., Longuinho, M., Bulou, H., Gervais, C., Sanchez, C., Azaïs, T., & Ersen, O. (2022). Monitoring of CaCO3 Nanoscale Structuration through Real-Time Liquid Phase Transmission Electron Microscopy and Hyperpolarized NMR. Journal of the American Chemical Society, 144(33), 15236. DOI 10.1021/jacs.2c05731

3. Dalmônico, G. M. L., Ihiawakrim, D., Ortiz, N., Barreto, A. G., Marcellos, C. F. C., Farina, M., Ersen, O., & Rossi, A. L. (2022). Live Visualization of the Nucleation and Growth of Needle-Like Hydroxyapatite Crystals in Solution by In Situ TEM. Crystal Growth & Design, 2022(8), 4828. DOI 10.1021/acs.cgd.2c00296.

4. Ortiz Peña N, Ihiawakrim D, Han M, et al. Morphological and structural evolution of Co3O4 nanoparticles revealed by in situ electrochemical transmission electron microscopy during electrocatalytic water oxidation. ACS Nano 2019;13:11372-81. DOI 10.1021/acsnano.9b04745.

P04

Application plus ou moins pragmatique de la microscopie électronique pour la caractérisation de matériaux plus ou moins industriels

Virgile ROUCHON[1]

1 IFP Energies nouvelles – Direction Physique Analyse
Rond-point de l'échangeur de Solaize BP3, 69360 Solaize. Courriel : virgile_rouchon@yahoo.com

La microscopie électronique en transmission permet d'investiguer les matériaux aux échelles caractéristiques de leurs propriétés intimes. Outre l'extrême diversité de paramètres physiques et chimiques sondables grâce au MET moderne, et ce dans différentes conditions environnementales, la MET reste une technique difficilement représentative et quantitative lorsqu'il en vient à définir la « qualité » d'un matériau. Cependant, certaines propriétés à petite échelle ne restent aujourd'hui sondables que par le MET, et cette spécificité garde toute sa valeur lorsqu'il s'agit de caractériser des matériaux de grade industriel.

Loin du questionnement fondamental suscité par un matériau modèle de laboratoire, qui nous anime pourtant inlassablement en tant que chercheur, le matériau industriel requiert une attention particulière quant à la nature quantitative, représentative et reproductible des caractéristiques qui doivent en être extraites pour en établir la qualité, ou en comprendre les performances.

Au travers de ses activités de développement de matériaux pour des applications dans les domaines de l'énergie et de l'environnement, IFP Energies nouvelles engage la microscopie électronique pour caractériser ces matériaux depuis le développement de concepts jusqu'aux lots industriels. J'aborderais ici différentes approches de la MET pour des matériaux catalytiques et de stockage électrochimique. Notamment, j'insisterais sur les aspects techniques permettant ou non de mettre en œuvre des méthodes standardisées pouvant impliquer différentes étapes de traitements d'image ou de signal.

Listes des résumés

Présentations orales

Physique - Chimie - Matériaux

P01 ► In situ biasing dans un TEM (Martien den HERTOG, Institut Néel - CNRS/UGA - Grenoble INP) 33
P02 ► Introduction à la détermination de structures cristallographiques par diffraction électronique 3D (Stéphanie KODJIKIAN et Christophe LEPOITTEVIN, Institut Néel - CNRS/UGA - Grenoble INP) 19
P03 ► Mesures MET du champ élastique induit par les dislocations dans une phase MAX Cr2AlC (Arthur DESPRES, SIMAP - Grenoble INP/UGA - Grenoble INP) 15
P04 ► Applications plus ou moins pragmatiques de la microscopie électronique pour le développement de matériaux plus ou moins industriels (Virgile ROUCHON, IFP Energies Nouvelles - Solaize) 38
P05 ► Liquid Phase Transmission Electron Microscopy (Dris IHIAWAKRIM, IPCMS - Strasbourg) 37
P06 ► Apport des techniques HR STEM EELS / EDS à l'ingénierie des surfaces (Stéphanie REYNAUD, Laboratoire Hubert Curien - Saint-Etienne) 29
P07 ► STEM HR et EELS spatialement résolu pour l'identification in-situ d'un mécanisme de renversement ferroélectrique d'un ferrite de gallium (Xavier DEVAUX, Institut Jean Lamour - Nancy) 21
P08 ► Comportement sous irradiation des alliages de zirconium revêtus de Cr (Joël RIBIS, CEA - Gif sur Yvette) 16
P09 ► Utility of transmission electron microscopy and its associated spectroscopies for the characterization of microelectronic components (Jean-Gabriel MATTEI, STMicroelectronics - Crolles) 36
P10 ► Advanced EELS spectroscopy characterization of AlGaN/GaN based HEMT devices (Estève DROUILLAS, STMicroelectronics - Crolles) 35
P11 ► "Easy" stroboscopy in a TEM using electrostatic blanking (Aurélien MASSEBOEUF, CEA SPINTEC - Grenoble) 34

Biologie et matières molles

B01 ► Morphogenèse des tores d'ADN condensé : résultats préliminaires de microscopie en phase liquide (Kahina VERTCHIK, LPS - Orsay) 28
B02 ► Conception de supra-assemblages moléculaires à base d'ADN (Nicolas TRIOMPHE, CBS - Montpellier) 32
B03 ► Microscopie Electronique en Transmission sur les polymères (Xavier JAURAND, Lymic CTμ - Lyon) 18

Acquisition, traitement et analyse de données

T01 ► Intelligence artificielle et ses applications en microscopie électronique (Maxime MOREAUD, IFP Energies Nouvelles - Solaize) 17
T02 ► Deep learning approaches for limited-angle electron tomography (Zineb SAGHI, CEA - Grenoble) 20

Société JEOL

J01 ► « Le Service Technique JEOL » : Organisation - Prestations - Actualités (Jean-Eudes TAGNE, JEOL SA EUROPE) 22
J02 ► « JEOL News » : Nouveautés instrumentales de la Société JEOL (Guillaume BRUNETTI, JEOL SA EUROPE) 30

Ateliers Pratiques

A1 ► Préparation d'échantillons - amincissement mécanique multiprep tripode et amincissement ionique PIPS II *Animé par Laetitia RAPENNE, LMGP - Grenoble INP/UGA*
Lieu LMGP/ MINATEC.....24

A2 ► Diffraction électronique - Résolution structure
Animé par Stéphanie KODJIKIAN et Christophe LEPOITTEVIN, Institut Néel - CNRS/UGA Grenoble
Lieu Hôtel Europole.....25

A3 ► ASTAR - technique d'acquisition automatique de cartographies d'orientation cristallines
Animé par Muriel VERON et Edgar RAUCH, SIMAP - Grenoble INP/UGA
Lieu Campus Universitaire.....26

A4 ► Traitement complet d'images avec plug im : illustration d'une méthode de segmentation et de débruitage des données en utilisant l'intelligence artificielle
Animé par Maxime MOREAUD & Virgile ROUCHON, IFP Energies Nouvelles – Solaize
Lieu Hôtel Europole.....27

Listes des participants
aux « Journées CMJ Grenoble 2023 »

([P]) intervenants et intervenantes des présentations orales
([A]) animateurs et animatrices des ateliers pratiques

Ancelin Aurélie
Centre CBS / INSERM
Université de Montpellier
aurelie.ancelin@cbs.cnrs.fr

Aouine Mimoun
Institut IRCELYON / CNRS
Villeurbanne
mimoun.aouine@ircelyon.univ-lyon1.fr

Barges Patrick
Société ArcelorMittal Maizières Research
Maizières-lès-Metz
patrick.barges@arcelormittal.com

Bernier Nicolas
Laboratoire LETI / CEA
Grenoble
n.bernier@yahoo.fr

Boissard Céline
Institut IC2MP / CNRS
Université de Poitiers
celine.boissard@univ-poitiers.fr

Brau Henri-Pierre
Institut ICSM / CEA
Laboratoire L2ME
Bagnols-sur-Cèze
henri.brau@cea.fr

Bron Patrick
Centre CBS / INSERM
Université de Montpellier
patrick.bron@cbs.cnrs.fr

Burel Laurence
Institut IRCELYON / CNRS
Plateforme IRCATECH
Villeurbanne
laurence.burel@ircelyon.univ-lyon1.fr

Castro Célia
Groupe GPM / CNRS
Université de Rouen
celia.castro@cnrs.fr

Coindeau Stéphane
Laboratoire SIMAP
Grenoble INP
Saint Martin d'Hères
stephane.coindeau@grenoble-inp.fr

Den Hertog Martien [P]
Institut Néel / CNRS
Grenoble
martien.den-hertog@neel.cnrs.fr

Descamps-Mandine Armel [P]
Centre Raimond Castaing / CNRS
Université de Toulouse
armel.descamps@ums-castaing.fr

Després Arthur [P]
Laboratoire SIMAP / CNRS
Grenoble INP
Saint Martin d'Hères
arthur.despres@grenoble-inp.fr

Devaux Xavier [P]
Institut Jean Lamour / CNRS
Université de Lorraine
Nancy
xavier.devaux@univ-lorraine.fr

Donnadieu Patricia
Laboratoire SIMAP / CNRS
Grenoble INP
Saint Martin d'Hères
patricia.donnadieu@simap.grenoble-inp.fr

Drouillas Estève [P]
Société STMicroelectronics & CEMES
Crolles
esteve.drouillas@st.com

Emo Mélanie
Institut Jean Lamour
Université de Lorraine / CNRS
Nancy
melanie.emo@univ-lorraine.fr

Exiga Stéphanie
Institut IC2MP
Plateforme PLATINA
Poitiers
stephanie.exiga@univ-poitiers.fr

Flament Camille
Laboratoire LCAE / CEA
Grenoble
camille.flament@cea.fr

Guetaz Laure
Laboratoire LITEN / CEA
Grenoble
laure.guetaz@cea.fr

Guigner Jean-Michel
Institut IMPMC
Sorbonne Université Paris
jean-michel.guigner@sorbonne-universite.fr

Ihiawakrim Dris P
Laboratoire IPCMS / CNRS
Université de Strasbourg
dris.ihiawakrim@ipcms.unistra.fr

Jaurand Xavier P
Centre CTμ
Université de Lyon
Villeurbanne
xavier.jaurand@univ-lyon1.fr

Kodjikian Stéphanie P A
Institut Néel / CNRS
Grenoble
stephanie.kodjikian@neel.cnrs.fr

Lancelon-Pin Christine
Centre CERMAV / CNRS
Saint Martin D'Hères
christine.lancelon.pin@cermav.cnrs.fr

Le Goff Xavier
Institut ICSM / CEA
Bagnols-sur-Cèze
xavier.legoff@cea.fr

Lefkir Yaya
Laboratoire Hubert Curien
Université de Lyon
Campus Manufacture Saint-Etienne
yaya.lefkir@univ-st-etienne.fr

Leforestier Amélie
Laboratoire LPS / CNRS
Université Paris Saclay
Orsay
amelie.leforestier@universite-paris-saclay.fr

Lepoittevin Christophe P A
Institut Néel / CNRS
Grenoble
christophe.lepoittevin@neel.cnrs.fr

Lett Samuel
Département DMAT / CEA Le Ripault
Monts
samuel.lett@cea.fr

Maniguet Laurent
Plateforme CMTC - Grenoble INP
Saint Martin D'Hères
laurent.maniguet@grenoble-inp.fr

Masseboeuf Aurélien P
Laboratoire SPINTEC / CNRS
Grenoble
aurelien.masseboeuf@cnrs.fr

Mattéï Jean Gabriel P
Société STMicroelectronics
Laboratoire Carphy
Crolles
jean-gabriel.mattei@st.com

Moreaud Aurélien P A
Institut IFP Energies nouvelles
DSTN
Solaize
maxime.moreaud@ifpen.fr

Obriot Daniela
Société ArcelorMittal Maizières Research
Maizières-lès-Metz
daniela.obriot@arcelormittal.com

Okuno Hanako
Institut IRIG / CEA
Grenoble
hanako.okuno@cea.fr

Pascal Céline
Laboratoire SIMAP / CNRS
Grenoble INP
Saint Martin d'Hères
celine.pascal@simap.grenoble-inp.fr

Pehau-Arnaudet Gérard
Plateforme UBI
Institut Pasteur
Paris
gpehau@pasteur.fr

Rapenne Laetitia A
Laboratoire LMGP / CNRS
INP / UGA
Grenoble
Laetitia.Rapenne@grenoble-inp.fr

Rauch Edgar A
Laboratoire SIMAP / CNRS
Grenoble INP
Saint Martin d'Hères
edgar.rauch@grenoble-inp.fr

Reynaud Stéphanie P
Laboratoire Hubert Curien
Université Jean Monnet
Saint-Etienne
stephanie.reynaud@univ-st-etienne.fr

Ribis Joël P
Laboratoire LA2M
Université Paris-Saclay / CEA
Gif sur Yvette
joel.ribis@cea.fr

Rouchon Virgile P A
Institut IFP Energies nouvelles
Physique Analyse
Solaize
virgile.rouchon@ifpen.fr

Rousseau Julie
Institut IC2MP
Université de Poitiers
julie.rousseau@univ-poitiers.fr

Rouvière Jean-Luc
Laboratoire LEMMA / CEA
Grenoble
jean-luc.rouviere@cea.fr

Saghi Zineb P
Laboratoire LETI / CEA
Grenoble
zineb.saghi@cea.fr

Schmitt Christine
Plateforme UBI
Institut Pasteur Paris
christine.schmitt@pasteur.fr

Thouvenot Catherine
Plateforme UBI
Institut Pasteur Paris
catherine.thouvenot@pasteur.fr

Triomphe Nicolas P
Centre CBS / INSERM
Université de Montpellier
nicolas.triomphe@cbs.cnrs.fr

Véron Muriel A
Laboratoire SIMAP / CNRS
Grenoble INP
Saint Martin d'Hères
muriel.veron@grenoble-inp.fr

Vertchik Kahina P
Laboratoire LPS / CNRS / JEOL
Université Paris Saclay
Orsay
kahina.vertchik@universite-paris-saclay.fr

Veyre Laurent
Laboratoire CP2M / CNRS
CPE Lyon
Villeurbanne
laurent.veyre@univ-lyon1.fr

Les représentants et personnels associés de la Société JEOL

(P) intervenants et intervenante des présentations orales

Berteau Pascal
JEOL (Europe) SAS
Croissy sur Seine

Brunetti Guillaume P
JEOL (Europe) SAS
Croissy sur Seine

Cachoulet Lionel
JEOL (Europe) SAS
Croissy sur Seine

Da Costa Elodie
JEOL (Europe) SAS
Croissy sur Seine

Freyria Etienne
JEOL (Europe) SAS
Croissy sur Seine

Gautier Frédéric
JEOL (Europe) SAS
Croissy sur Seine

Goubeau Jonathan
JEOL (Europe) SAS
Croissy sur Seine

Lathus Guillaume
JEOL (Europe) SAS
Croissy sur Seine

Rajendirane Sophia
JEOL (Europe) SAS
Croissy sur Seine

Ravelle-Chapuis Régis
JEOL (Europe) SAS
Croissy sur Seine

Tagne Jean-Eudes P
JEOL (Europe) SAS
Croissy sur Seine

Vertchik Kahina P
Laboratoire LPS / CNRS / JEOL
Université Paris Saclay
Orsay

Les membres du Bureau de l'association CMJ

([P]) intervenant des présentations orales

Brunet Loïc (secrétaire - webmaster)
Plateforme BICeL - PLBS
Université de Lille
loic.brunet@univ-lille.fr

Brunetti Guillaume (vice - secrétaire) [P]
Société JEOL (Europe) SAS
Croissy sur Seine
brunetti@jeol.fr

Demaille Dominique (trésorière)
Laboratoire INSP
Sorbonne Université - Paris
demaille@insp.jussieu.fr

Ersen Ovidiu (président)
Laboratoire IPCMS
Université de Strasbourg / CNRS
ovidiu.ersen@ipcms.unistra.fr

Lai Kee Him Joséphine (vice- présidente)
Centre CBS
Université de Montpellier / INSERM
josephine.laikeehim@cbs.cnrs.fr