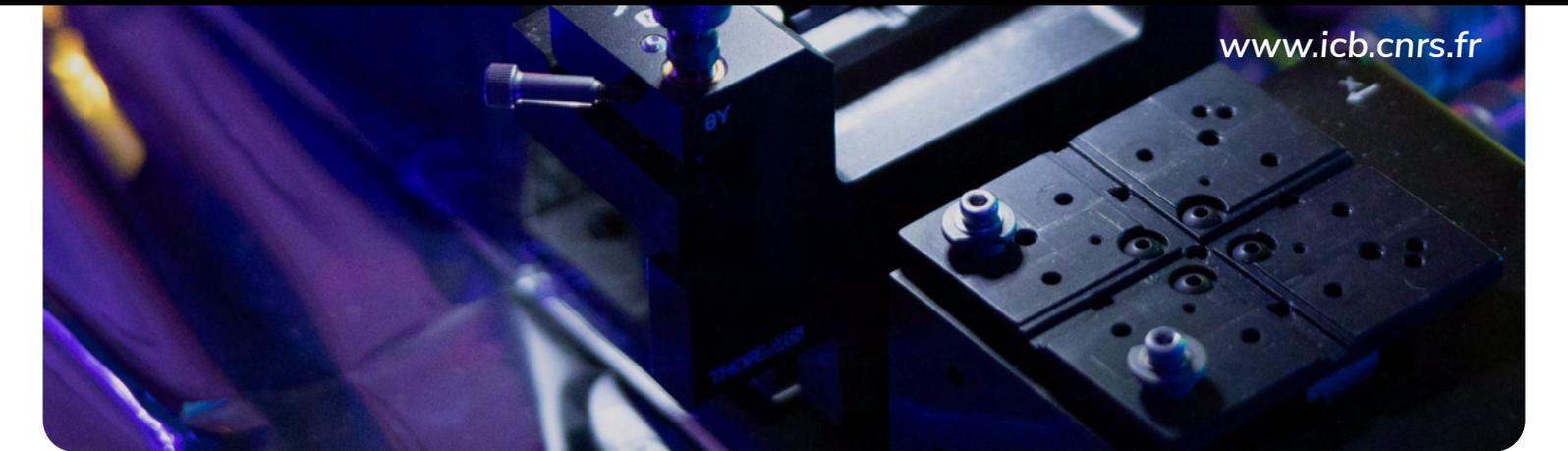


A close-up photograph of a microscope objective lens, illuminated with a blue light. The lens is mounted on a metal frame. The background is a bokeh of colorful lights in shades of red, blue, and yellow. The text "Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne" is overlaid in white.

Laboratoire Interdisciplinaire
Carnot de Bourgogne

RAPPORT D'ACTIVITÉ 2024

A close-up photograph of a microscope stage, showing a black metal block with a silver screw. The block has the "THORLABS" logo on it. The background is a bokeh of colorful lights. The text "www.icb.cnrs.fr" is overlaid in white.

www.icb.cnrs.fr

**Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne
Unité Mixte de Recherche 6303**



SOMMAIRE

- 05 **ÉDITO** Stéphane GUÉRIN
- 06 **2024** en chiffre
- 08 Nouveaux entrants permanents

FOCUS SUR...

- 10 Parité et Égalité à l'ICB
- 12 Journée de l'ICB

L'ESSENTIEL 2024

- 14 **Panorama 2024 - Médiation scientifique**
- 16 Année de la Physique
- 17 Patrimoines Écrits en Bourgogne Franche-Comté
- 18 Nuit Européenne des Chercheurs
- 19 À l'Ombre des Gestes : Corps et savoir
- 20 Exposition « Carnot »
- 22 **Panorama 2024 - Colloques et congrès**
- 26 PPCC2024 - Prospects on Protonics Ceramic Cells
- 28 Journées Verre

TEMPS FORTS SCIENTIFIQUES

- 32 CO2M - Conception, Optimisation et Conception en Mécanique
- 34 ICQ - Interactions et Contrôles Quantiques
- 40 Interfaces
- 46 Nanosciences
- 52 Photonique
- 58 PMDM - Procédés Métallurgiques, Durabilité, Matériaux
- 66 ARCEN-Carnot
- 68 SMARTLIGHT
- 72 CALHIPSO
- 74 TITAN



J'espère que vous prendrez autant de plaisir à découvrir les multiples facettes des activités de l'ICB que j'en ai eu à les voir se développer tout au long de cette année.

Stéphane GUÉRIN

Directeur du Laboratoire ICB

Impliquant plus de 300 personnes, dans les domaines de la physique, de la chimie physique et de l'ingénierie des matériaux, implanté à Dijon, au Creusot, Chalon-sur-Saône et Belfort (Sevenans), le Laboratoire ICB incarne au meilleur niveau les ambitions de recherche du CNRS, de l'Université de Bourgogne (devenue Université Bourgogne Europe - UBE, depuis le 1er janvier 2025), et de l'Université de Technologie de Belfort Montbéliard en Bourgogne Franche-Comté.

Les orientations scientifiques du laboratoire, formant un continuum de la recherche fondamentale aux applications industrielles, sont portées par six départements et cinq plateformes technologiques en continuelle évolution avec l'acquisition de nouveaux équipements toujours plus performants. Notre implication dans les PIA structurant nos plateformes se perpétue : en plus de nos deux EquipeX+ CALHIPSO et SMARTLIGHT et de notre forte implication dans le PEPR DIADEM (plateforme TITAN) ainsi que les PEPR Electronique (via notre plateforme ARCEN Carnot Renatech+) et Hydrogène, notre plateforme de photonique à l'ICB (SMARTLIGHT) a été labellisée en 2024 Hub Infrastructure du PEPR LUMA. Par ailleurs, notre plateforme TomoXpert sur le contrôle non destructif (CND) prend de l'ampleur sur le site de Chalon/Saône en s'adossant sur le consortium industrie - uB - Sayens du CND LAB', dont l'ICB est pilote, labellisé France 2030 « Amélioration et transformation des filières ».

Le présent rapport vous fera découvrir l'impressionnante créativité qui se décline par des projets tant nationaux (62 projets ANR actifs en 2024) qu'internationaux (8 projets européens actifs) par des mises en valeur en interaction avec le monde socio-économique, ou par les distinctions scientifiques qui honorent nos enseignants-chercheurs et chercheurs les plus emblématiques en particulier dans le classement de Stanford, sans oublier l'organisation de conférences internationales de différents horizons (Prospects on Protonic Ceramic Cells PPCC2024, Complex Kinetics and Dynamics from Single Molecule to Cells, Quantum Carnot). Cette dernière conférence, mêlant thermodynamique et quantique, a été accompagnée d'une conférence grand public au Creusot « Chaleur, énergie, thermodynamique - Le message de Carnot aujourd'hui... 200 ans après » et d'une exposition co-organisées par l'Académie François Bourdon. Elles ont permis de célébrer le bicentenaire de l'édition de l'ouvrage fondateur de la thermodynamique de Sadi Carnot, « Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance », de famille originaire de Nolay en Côte-d'Or.

Plus généralement, vous découvrirez les nombreuses activités de médiations scientifiques orchestrées par l'ICB en particulier dans le cadre de l'année de la physique 2024 (résidence d'artiste, ...) et au-delà. Au cours de cette année, nous avons accompagné la Région dans ses actions de promotions des biothérapies et de la bioproduction (assises) en BFC montrant l'implication grandissante de l'ICB dans ce domaine stratégique. Nous avons ainsi déposé un projet PEPR et des enseignants-chercheurs travaillant plus spécifiquement en enzymologie nous ont rejoints.

Par ailleurs, un Directeur de Recherche CNRS développant la chimie quantique et très actif sur le plan international a acté son détachement vers l'ICB depuis Paris-Saclay, démontrant l'attractivité continue de notre laboratoire.

Soucieux du bien-être de chacun au sein du laboratoire, l'ICB a privilégié plusieurs actions organisées par la cellule parité et égalité.

Nous souhaitons que le présent rapport motive le lecteur à interagir avec les membres du laboratoire que ce soit pour construire un projet collaboratif de recherche fondamentale, appliquée ou industrielle, pour s'impliquer dans un réseau européen, pour un partenariat en R&D, pour accéder à des prestations scientifiques offertes par nos plateformes technologiques, pour s'engager à un niveau master ou doctoral dans nos formations pour et par la recherche, ou encore pour nous rejoindre et contribuer au rayonnement de l'ICB en tant que chercheur.e, doctorant.e, stagiaire, ingénieur.e, technicien.ne, ou administratif.ve.

Je remercie tous les membres du laboratoire pour leur engagement et leur passion traduits par les nombreux succès présentés dans ce bilan 2024. J'espère que vous aurez plaisir à découvrir les multiples facettes des activités du laboratoire autant que j'ai eu plaisir à les voir éclore au cours de cette année.

2024 EN CHIFFRES

RESSOURCES HUMAINES

+350 MEMBRES

208 permanents :

145 Enseignants-chercheurs
28 ITA CNRS
35 IATSS Universités

164 non permanents :

116 Post-doctorants/Doctorants
22 CDD IT/CDD EC (UTBM)
26 Invités, chercheurs associés, visiteurs/an

RECHERCHE

6 DÉPARTEMENTS
SCIENTIFIQUES

2 SERVICES D'APPUI
À LA RECHERCHE

5 PLATEFORMES
TECHNOLOGIQUES

3 START-UP

SINTERmat
ITEN
Naxagoras Technology

PUBLICATIONS

~ **300** PUBLICATIONS
SCIENTIFIQUES/AN (en moyenne)

FORMATIONS

4 MASTERS

Erasmus Mundus sur les technologies quantiques (QuanTEEM),
Contrôle et Durabilité des Matériaux (CDM),
Physique, Photonique et Nanotechnologies (PPN),
Procédés et Matériaux, Industrie Nucléaire (PC2M).

2 ÉCOLES DOCTORALES

CARNOT-PASTEUR et SPIM

BUDGET ANNUEL



NOUVEAUX ENTRANTS PERMANENTS

Cette année, le Laboratoire ICB a accueilli plusieurs nouveaux membres permanents, renforçant ainsi son expertise et sa dynamique de recherche. Leurs compétences variées et complémentaires contribuent activement aux avancées scientifiques et aux projets collaboratifs du laboratoire.



Mohamed-Hatem Allouche, MCF uB
Département PMDM

Mohamed.Hatem.Allouche@u-bourgogne.fr



Florian Dell'Ova, IR CNRS, Smartlight.
Département Photonique

Florian.Dell.Ova@u-bourgogne.fr

Après une formation d'ingénieur en génie physique à l'INSA de Toulouse, j'ai préparé une thèse de doctorat au sein du laboratoire ICB. Celle-ci portait sur l'étude de la réponse non linéaire de microcavités plasmoniques en vue d'une application dans le traitement de l'information tout-optique. J'ai ensuite intégré la plateforme SMARTLIGHT du laboratoire en tant qu'ingénieur de recherche, avec pour mission de concevoir et de mettre en œuvre des techniques de microscopie avancées. Ces techniques visent à étudier les nanostructures plasmoniques et photoniques afin de répondre aux besoins des projets scientifiques des différents départements.



Fabien Gatti, DR CNRS
Département ICQ

Fabien.Gatti@u-bourgogne.fr

Fabien Gatti est directeur de recherche au CNRS. Après avoir travaillé à Montpellier (ICGM) puis à Paris-Saclay (ISMO), il a rejoint l'université de Bourgogne en 2024 afin de poursuivre ses collaborations localement. Fabien Gatti est chimiste théoricien à l'interface entre la physique quantique et la chimie. Ses études portent sur la « dynamique quantique moléculaire » où les phénomènes chimiques sont décrits par une approche quantique : il utilise le logiciel Multi-Configuration Time-Dependent Hartree (MCTDH) de Heidelberg qu'il a co-développé depuis de nombreuses années. Parmi ces recherches liées directement à l'ICB, il travaille sur le contrôle quantique par impulsions lasers, la spectroscopie moléculaire et les collisions réactives entre molécules. Bénéficiant du soutien de la cellule STRADA de Université Bourgogne Europe, il a déposé un projet de Doctoral Network - Marie Skłodowska-Curie Actions en tant que coordinateur.



Jean-Marie HEYDEL, PR uB
Département Nanosciences

Jean-Marie.Heydel@u-bourgogne.fr

Jean-Marie HEYDEL est professeur de biochimie et de biologie moléculaire à l'UFR des Sciences de Santé. Enseignant-chercheur senior, il est assesseur recherche et directeur du département de biochimie de la circonscription Pharmacie. Ses travaux ont permis des avancées significatives sur l'étude de la fonction et de la régulation des enzymes de détoxification, plus particulièrement au niveau des tissus sensoriels olfactifs et gustatifs dernièrement. En parallèle des approches biologiques de caractérisation enzymatique (métabolomique), cellulaire (histologie, culture cellulaire) et moléculaire (transcriptomique, protéomique) de ces enzymes, son projet, grâce à son intégration dans le laboratoire interdisciplinaire Carnot de Bourgogne, consiste à utiliser des approches de simulations numériques pour prédire la fonction d'enzymes de détoxification naturelles ou optimisées et d'en tester la pertinence sur des enzymes purifiées grâce aux outils de bioproduction.



Fabrice Neiers, PR uB
Département Nanosciences

Fabrice.Neiers@u-bourgogne.fr

J'ai réalisé ma thèse de doctorat en enzymologie à l'Université de Lorraine, suivie d'un post-doctorat au Karolinska Institut, en Suède. Recruté comme Maître de Conférences à l'Université de Bourgogne en 2009, j'ai été promu Professeur en 2021 au sein de l'UFR des Sciences de Santé. J'ai dirigé l'équipe de recherche « Flavour: From the molecule to the behaviour » avant de rejoindre le laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB) en 2025, où je poursuis mes travaux sur les rôles et les mécanismes des enzymes, notamment celles impliquées dans la perception gustative et olfactive chez les êtres vivants. Pour étudier ces enzymes j'utilise des techniques immunohistochimiques, protéomiques et biophysiques pour étudier leurs expression localisation et mécanismes. Je m'appuie sur des systèmes biotechnologiques pour les produire pures en grande quantité.

FOCUS SUR...

Actions et réflexions sur la parité et l'égalité au sein du laboratoire.

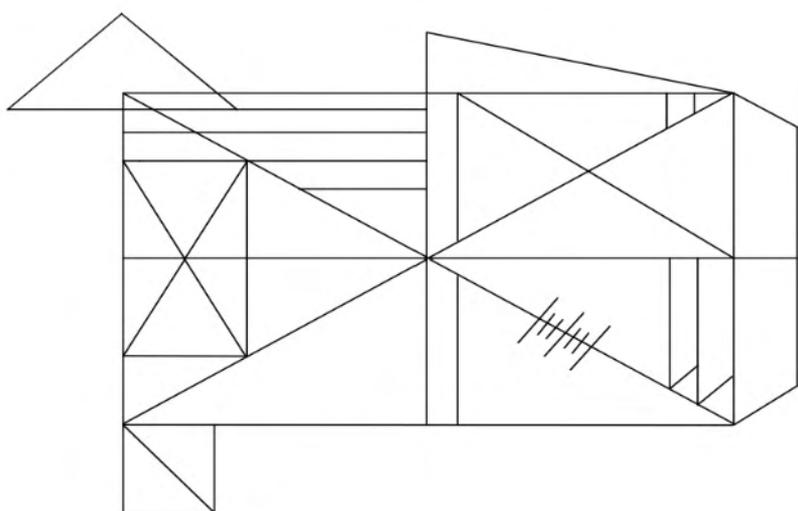
Depuis un an, Jean-Marc Simon et moi-même, Alice Martin, sommes co-référents parité-égalité pour le laboratoire dans le cadre du CNRS, et je suis également référente pour l'Université de Bourgogne.

Conformément aux actions identifiées dans la lettre d'information du 21 mars dernier, nous avons mis en place cet automne une campagne d'affichage visant à sensibiliser les membres du laboratoire aux enjeux de la parité et de l'égalité. Cette initiative a suscité de nombreux échanges au sein de l'établissement, atteignant ainsi son objectif principal : inciter au débat et à la prise de conscience.

En parallèle, nous avons créé un espace « ressources » en salle E101, partagé avec l'ICMUB (Institut de Chimie Moléculaire de l'Université de Bourgogne.) Cet espace propose des livres et des brochures thématiques accessibles à tous. Par ailleurs, un espace virtuel regroupant des ressources supplémentaires sera bientôt disponible sur le tout nouveau site web du laboratoire, renforçant notre engagement à rendre ces informations accessibles au plus grand nombre.

Sur un plan personnel, les formations auxquelles j'ai participé m'ont permis de mieux comprendre l'ampleur des biais et des stéréotypes de genre, y compris ceux auxquels je suis moi-même soumise. Ces stéréotypes, bien que souvent inconscients, se développent dès le plus jeune âge. Ils commencent à se former dès l'entrée à l'école, vers 3 ans, et sont déjà profondément ancrés à l'âge de 6 ans.

Un exemple marquant est celui d'un test qui met en évidence l'impact de ces stéréotypes : lorsque ce test est présenté comme un exercice de géométrie, les filles ont tendance à sous-performer. En revanche, lorsqu'il est présenté comme un exercice de mémoire, ce sont les garçons qui se sabordent. Ce phénomène illustre à quel point les attentes et les préjugés liés au genre influencent les performances.



Le test de la Figure de Rey est un outil neuropsychologique utilisé pour évaluer les capacités visuo-spatiales, la mémoire et les fonctions exécutives. Il consiste à demander à une personne de recopier un dessin complexe (une figure abstraite composée de plusieurs formes géométriques), puis de le reproduire de mémoire après un délai. Ce test permet notamment de détecter des troubles cognitifs.

Si la mauvaise nouvelle est que nous sommes toutes et tous soumis à ces biais, la bonne nouvelle est qu'en les identifiant et en les analysant, nous pouvons apprendre à réduire leur impact et progresser vers une société plus égalitaire.

Ces actions et réflexions traduisent notre volonté d'intégrer les enjeux de parité et d'égalité au cœur des missions du laboratoire, en alignement avec les valeurs portées par le CNRS et l'Université Bourgogne Europe.

Alice MARTIN et Jean-Marc SIMON, parite-icb@icb.cnrs.fr

Dispositif anti-harcèlement pour les personnels de l'UBE :

- <https://www.u-bourgogne.fr/actualites/un-dispositif-anti-harcelement-pour-les-personnels-de-lub.html>

Procédure CNRS :

- <https://mpdf.cnrs.fr/lutte-contre-le-harcelement/procedure-cnrs/>

Huguet, P., & Régner, I. (2007). Stereotype threat among schoolgirls in quasi-ordinary classroom circumstances. *Journal of Educational Psychology*, 99(3), 545–560. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.99.3.545>



EVRS DE BELFORT 1870-71

JOURNÉE DE L'ICB

Le mardi 6 juillet 2024, les membres de l'ICB se sont réunis sur le campus de l'UTBM à Seve-nans pour une journée dédiée à la cohésion et aux échanges. Cet événement a une nouvelle fois souligné l'importance de tisser des liens solides entre les membres de l'unité.

La matinée a été rythmée par des présentations scientifiques mettant en avant les projets phares du laboratoire. Ces échanges enrichissants ont laissé place à un déjeuner convivial offrant un cadre idéal pour des discussions informelles entre collègues des différentes équipes.

L'après-midi, les participants ont pu s'immerger dans diverses activités extra-professionnelles : initiation à la forge, découverte de la plateforme TITAN et visite de la Citadelle de Belfort.

Cette édition 2024 de la Journée de l'ICB a confirmé son rôle essentiel dans la vie du labora-toire. Au-delà d'un moment de réflexion scientifique, elle constitue une véritable opportunité de renforcer la cohésion et de favoriser une collaboration dynamique entre ses membres.



MÉDIATION SCIENTIFIQUE

L'essentiel 2024





Nuit Européenne des Chercheurs 2024,
la recherche d'hier et d'aujourd'hui.

PANORAMA 2024

Année de la Physique



L'année 2024, désignée « Année de la physique » par le CNRS est une initiative visant à mettre en lumière les grandes avancées et les enjeux de la recherche en physique au 21^e siècle.

AVRIL 2024

La Nuit de la Physique : Physique et Sport

2 avril 2024, Université de Bourgogne

Dans le cadre de l'Année de la Physique et compte tenu de l'organisation en France des Jeux Olympiques et Paralympiques 2024, le Laboratoire ICB a co-organisé la Nuit de la Physique avec la Société Française de Physique, le CNRS et le CEA.

Au programme, 2 conférences Physique et Sport :

- Effet de la raquette de tennis – Dominique Sugny (uB/ICB)
- Des électrodes pour rendre le sport accessible aux paralysés – Gaëlle DELEY (uB/INSERM)

Journée des Enseignants du secondaire

9 avril 2024, Polytech Dijon

Dans le cadre de l'année de la physique, l'ICB et le rectorat de l'académie de Dijon ont conjointement organisé la Journée d'Études des Enseignants le mardi 9 avril dernier à Polytech Dijon (anciennement ESIREM). L'événement a réuni plus de 50 enseignants de physique-chimie de Bourgogne pour une journée de partage de connaissance.

MARS - JUILLET 2024

Résidence d'artiste labélisée

L'ICB a eu le plaisir d'accueillir l'artiste Maëva Ferreira Da Costa en résidence pendant un mois. Cette collaboration « art/ science » a permis de créer un pont entre les recherches menées au laboratoire et l'expression artistique. Inspirée par les travaux de nos équipes, Maëva a développé une série d'œuvres inédites, mêlant créativité et exploration des concepts physiques. La résidence se conclura par une restitution du 17 avril au 3 mai 2025 au bar Un Singe en Hiver, offrant un moment unique d'échange entre chercheurs, artistes, et le grand public.

JUIN 2024

Bar des Sciences : Enjeux et défis de la Physique au XX^e siècle

4 juin 2024, Un Singe en Hiver

Les défis de la physique au XXI^e siècle sont immenses, allant de l'infiniment petit aux vastes structures de l'Univers, en passant par des domaines aussi divers que la nanoscience, la mécanique ou la physique du vivant. Lors de ce bar des sciences, trois grands thèmes de la recherche fondamentale et appliquée ont été explorés : la physique quantique et applications, les lasers ultra-courts et leurs applications, les ondes gravitationnelles. Ces domaines, au cœur des récentes avancées scientifiques, ont été expliqués par des chercheurs de l'Université de Bourgogne. En ces temps où la culture scientifique est mise à l'épreuve, cet échange a montré l'impact de la physique sur notre quotidien et son rôle crucial pour relever les défis de demain.

Patrimoines Écrits en Bourgogne-Franche-Comté

Du 30 sept. au 8 nov. 2024

Le Laboratoire ICB était présent à l'exposition « Veilleuses de nuit : ce que les étoiles doivent à la mythologie » organisée par la bibliothèque universitaire Le Cortex (UBE) et proposée par l'Agence Livre & Lecture pour valorisation le patrimoine écrit, graphique et iconographique conservé en région et à destination de tous les publics.

Complètement Mytho !

Rencontre/dédicace, conférences et ateliers : à travers une approche immersive, cet événement a offert au public l'occasion d'explorer les mystères du ciel.

L'exposition a permis aux visiteurs de découvrir comment, depuis l'aube des civilisations, les astres ont inspiré de riches symboles et récits qui façonnent encore aujourd'hui notre vision du cosmos.



Nuit Européenne des Chercheurs : Tous en piste !

27 septembre 2024

Un chercheur, c'est quelqu'un qui explore, teste et interroge sans relâche. Il ou elle peut passer des mois à analyser des données, rencontrer des obstacles, manquer de sources ou voir une expérience contredire toutes ses attentes. Pourtant, chaque échec, chaque détour contribue à faire avancer la connaissance. Une fois la découverte aboutie, tout ce cheminement – essais, erreurs, hypothèses abandonnées – disparaît souvent des récits grand public, laissant dans l'ombre la complexité et la richesse du processus scientifique.

La piste de danse !

Jusqu'au bout de la Nuit, sous les éclairs des stroboscopes, dans les effets de fumées, entre les faisceaux lumineux des lasers, les chercheurs de l'ICB ont débarqué sur le dancefloor pour dévoiler leurs recherches sur la lumière.



©Vincent Arbelet

À l'Ombre des Gestes

Du 22 nov. au 21 février 2024

La science se définit par ses découvertes et ses avancées. On la découvre à la fois dans les revues spécialisées et dans les médias. Elle s'incarne dans les visages de celles et ceux qui leur dédient de longues heures de travail. Mais qu'en est-il des coulisses ? Il est difficile de penser le geste. Immatériel, fugace, banalisé, il est pourtant le résultat d'un travail de répétition et de conditionnement. Il s'inscrit dans la longue chaîne opératoire de la fabrique des savoirs. Souvent étudiés et remarqués dans le secteur des métiers d'art, les gestes sont à eux-seuls un savoir-faire.

Les gestes scientifiques sont la sensibilité que l'imaginaire collectif refuse aux sciences. Suite à Prototype Objet Particulier mettant en lumière l'innovation locale, cette nouvelle exposition s'intéresse à ce qui fait l'immatérialité de la recherche.

Les techniciens des ateliers de la plateforme ARCEN-Carnot de l'ICB ont également participé à cette exposition, apportant leur expertise et leur savoir-faire unique, essentiels à la concrétisation des projets scientifiques.



©Baptiste Cottard

Exposition "Carnot" : Des savants d'hier pour imaginer demain

Du 2 au 3 décembre 2024

Du 2 au 13 décembre 2024, l'UFR Sciences et Techniques de l'Université de Bourgogne a eu le plaisir d'accueillir l'exposition Carnot, conçue par Gilles Bertrand et réalisée par l'Académie François Bourdon. Installée dans l'ancienne salle du conseil, cette exposition a offert aux étudiants et aux personnels de l'UFR une immersion dans l'univers de Sadi Carnot et des avancées scientifiques de son époque présentant toujours un fort impact dans la science contemporaine.

Une exposition riche et accessible

Les visiteurs ont pu découvrir le parcours et l'influence de Sadi Carnot, figure majeure de la thermodynamique, à travers une présentation interactive et visuellement captivante. Des sessions spécifiques étaient organisées pour accueillir le public.

Un voyage entre science et histoire

L'exposition a permis d'explorer le contexte scientifique et industriel du XIXe siècle, en mettant en lumière les travaux de Carnot et leur impact sur l'évolution des sciences physiques. Les maquettes, documents d'époque et supports didactiques ont su capter l'attention et susciter des échanges enrichissants.



Les Bicentennaires Carnot

Que commémore-t-on ?



Lorsque **France Mémoire** dévoile son calendrier 2023, cinquante dates anniversaires sur des personnages, des œuvres et des événements marquants de l'histoire de France sont mises en exergue. Les dates retenues ont été sélectionnées par un conseil scientifique constitué de délégués des cinq académies qui composent l'Institut de France (Académie française, Académie des inscriptions et belles lettres, Académie des sciences, Académie des beaux-arts, Académie des sciences morales et politiques).

Elles offrent une grande variété de sujets, depuis le Moyen-Âge jusqu'à 1973. Les temps forts de cette année 2023 sont le millénaire de l'abbatiale romane du Mont-Saint-Michel, les 400 ans de la naissance de Blaise Pascal, les centennaires de la mort de Sarah Bernhardt et de Gustave Eiffel, ou encore les 50 ans du lancement du programme spatial Ariane.

France Mémoire a aussi souhaité mettre en avant etc... D'autres événements sont autant de fenêtres ouvertes sur des moments significatifs de l'histoire de France : le serment de Guérin de Beauvais (1023) sur le mouvement de la « Paix de Dieu », la naissance de Louis XI (1423) et la construction de l'État, la mort de Lazare Carnot (1823), le traité de Lausanne (1923) pour les négociations qui ont suivi la Grande Guerre.

Mort de Lazare CARNOT 2 août 1823

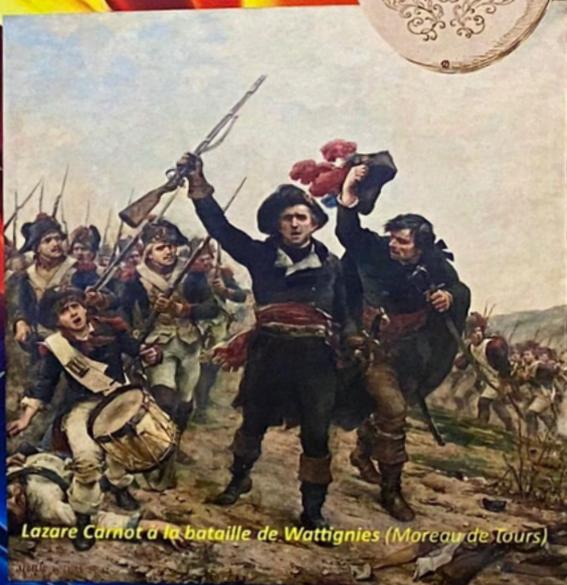


COMMÉMORATIONS NATIONALES 2023

- 1023 Édification de l'abbatiale du Mont-Saint-Michel
- 14 juillet 1223 Mort du roi Philippe Auguste
- 17 février 1673 Mort de Molière
- 2 août 1823 Mort de Lazare Carnot**
- 26-27 mai 1923 Premières « 24 heures du Mans »
- 31 juillet 1973 Lancement du programme Ariane

COMMÉMORATIONS NATIONALES 2024

- 30 avril 1524 Mort du Chevalier Bayard
- Septembre 1724 Création de la Bourse de Paris
- 1824 Réflexions... de Sadi Carnot**
- 1924 Jeux Olympiques de Chamonix et Paris
- 8 mars 1974 Inauguration Aéroport Charles de Gaulle



Lazare Carnot à la bataille de Wattignies (Moreau de Tours)

Nicolas Léonard Sadi CARNOT 2 juin 1824

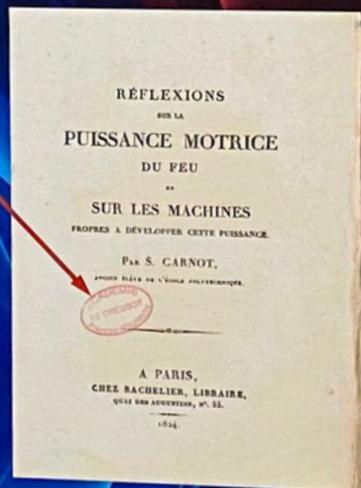


Réflexions sur la puissance motrice du feu

Nicolas Léonard Sadi Carnot publie en 1824, à compte d'auteur (facture datée du 2 juin), un mémoire « Réflexions sur la puissance motrice du feu ». Il y étudie les machines qui transforment de la chaleur en travail.

L'ouvrage qui pose les bases de la thermodynamique n'a pas vraiment attiré l'attention avant la mort de l'auteur en 1832 et une réédition commentée par Émile Clapeyron en 1834. Dans un style qui renonce au langage algébrique pour être compris pas des non-initiés, on y trouve un premier énoncé du futur deuxième principe de la thermodynamique.

Parmi ses écrits posthumes, on retrouve avant l'heure le premier principe de la thermodynamique et d'autres éléments précurseurs qui, à défaut d'être publiés à temps, ne purent influencer la science de l'époque.



COLLOQUE ET CONGRÈS

L'essentiel 2024





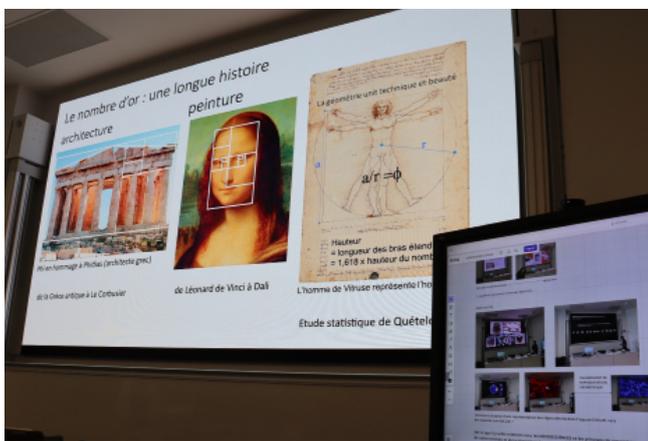
Workshop Art, Design et Science

30 mai 2024

Le 30 mai 2024, l'ICB a organisé le Workshop Art, Design et Science. Cet événement s'est tenu à Polytech Dijon (ESIREM) et a réuni des chercheurs, artistes, et designers autour de thématiques liant création artistique et innovation scientifique.

Son objectif principal était de favoriser le dialogue entre ces disciplines en apparence éloignées, mais qui se complètent souvent de manière surprenante. Durant cette journée, les participants ont pu assister à de nombreuses présentations captivantes, des démonstrations interactives, et participer à des visites de laboratoire.

Cet événement a permis de renforcer les liens entre la communauté scientifique et artistique, tout en soulignant l'importance de l'interdisciplinarité dans l'innovation. Le succès de ce workshop ouvre la voie à d'autres initiatives similaires, visant à stimuler la créativité et à encourager des partenariats inattendus.



Dijon ComplexBioDyn 2024

Du 10 au 14 juin 2024

Du 10 au 14 juin 2024, Dijon a accueilli le workshop international « Dijon - Complexbiodyn 2024 » organisé par le Laboratoire ICB. L'évènement a rassemblé des experts pour explorer la complexité de la dynamique et de la cinétique des systèmes, des biomolécules uniques aux cellules.

L'évènement a mis en lumière des concepts et techniques clés tels que les paysages énergétiques, les réseaux, la spectroscopie de molécule unique, la dynamique et le repliement biomoléculaires, la RMN et l'analyse des données de séries temporelles. Des expérimentateurs et théoriciens de divers domaines (physique chimique, sciences de l'information, mathématiques appliquées, imagerie de molécules uniques, science des données) ont uni leurs forces pour des discussions enrichissantes.



Colloque Carnot

Du 21 au 22 novembre 2024

Les 21 et 22 novembre 2024, l'Académie François Bourdon en partenariat avec la Communauté Urbaine Creusot Montceau, a accueilli le Colloque Carnot. Cet événement a rassemblé experts, chercheurs et passionnés autour d'un thème central : « Chaleur, énergie, thermodynamique – Le message de Sadi Carnot aujourd'hui... 200 ans après ».



Jean-Luc Gisclon, Président de l'Académie François Bourdon, et Gilles Bertrand, Professeur Émérite à l'Université de Bourgogne et membre du Laboratoire ICB, ont honoré le colloque de leur présence, apportant un éclairage précieux sur l'importance des principes fondateurs de la thermodynamique dans le contexte énergétique actuel. Durant ces deux journées, de nombreuses conférences ont été données par les chercheurs du Laboratoire ICB. Ces interventions ont permis d'aborder des enjeux énergétiques cruciaux, tout en mettant en lumière les avancées scientifiques qui répondent aux défis contemporains liés à la production, l'utilisation et la gestion de l'énergie.



7th International Workshop

PROSPECTS ON PROTONIC CERAMIC CELLS

June 18-21, 2024 - Dijon, France



Welcome to Dijon!



PPCC2024

Du 18 au 21 juin 2024



Participants aux congrès PPCC 2024

Du 18 au 21 juin 2024, l'école d'ingénieurs Polytech Dijon a accueilli la 7^{ème} édition du congrès international « Prospects on Protonic Ceramic Cells », organisé conjointement par le Laboratoire ICB (département PDM), l'association International Society for Protonic Ceramic Conductor, EIFER (European Institute For Energy Research) et la Colorado School of Mines.

L'objectif était de fédérer leurs communautés scientifiques respectives afin de promouvoir les échanges et stimuler l'émergence de nouveaux axes de recherche. Ce grand congrès biennal a su mettre en lumière la richesse et la vigueur des nouvelles avancées de la chimie du solide, de la science des matériaux, de la caractérisation physique et chimique, des performances et de la fiabilité électrochimique, de la modélisation et de la simulation, ainsi que de l'ingénierie et des applications des technologies des conducteurs protoniques à l'état solide.

L'événement a donné une vision globale des recherches de pointe du fondamental à l'appliqué des nouvelles cellules de céramique protonique et de leurs applications et a su rassembler les milieux universitaire, industriel et de la recherche. Les organisateurs ont travaillé de concert pour définir les thématiques scientifiques au programme de ce congrès et identifier les orateurs plénières et keynote invités. Ce congrès rassemblant des chercheurs, ingénieurs, doctorants et post-doctorants durant 3 jours, aura permis à l'ensemble des participants d'échanger sur ses travaux de recherche avec des spécialistes du domaine, tout en s'enrichissant avec des recherches sur d'autres thématiques dans un esprit d'ouverture à l'interdisciplinarité.

Le programme fut rythmé par plusieurs conférences plénières présentées par des scientifiques internationaux : Donglin Han (Chine), Maria Gazda (Pologne), Armelle Ringuedé (France), Sonia Escolástico (Espagne), Hiroyuki Shimada (Japan), Adeline Miquelot (France), Javishk Shah (USA), John T.S. Irvine (Écosse), plusieurs conférences thématiques ainsi qu'une session poster.

En outre, une vingtaine d'orateurs ont introduit les thématiques développées du congrès. Les discussions se sont poursuivies autour de plus de 20 posters présentés par les participants sur l'ensemble des thématiques abordées au sein du congrès.

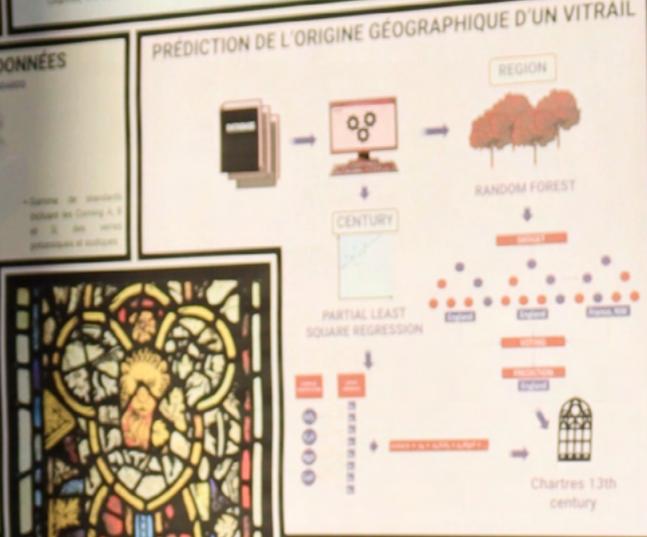
Révéler l'Origine des Vitraux Médiévaux : Analyse chimique par pXRF

Elise Langagne^{1,2,3}, Laurent Cormier¹, Daniel R. Neuville², Nadine Schibille³
¹Université de Bourgogne, UMR 5076 Institut de Recherche de Physique des Matériaux et de Chimie des Matériaux (IRPMCM), Dijon, France
²Université de Poitiers, UMR 1225 Institut de Recherche de Physique des Matériaux et de Chimie des Matériaux (IRPMCM), Poitiers, France
³Université de Bordeaux, UMR 5076 Institut de Recherche de Physique des Matériaux et de Chimie des Matériaux (IRPMCM), Bordeaux, France

INTRODUCTION

Le pXRF est un outil populaire pour analyser sur site les vitraux médiévaux en raison de sa rapidité et de son caractère non destructif. Toutefois, il présente certaines limites de précision notamment pour des éléments en faibles concentrations. Malgré ces limites, il permet d'obtenir des profils chimiques utiles pour l'étude de la provenance.

Peut-on déterminer l'origine géographique d'un vitrail à l'aide du pXRF ?



REPRODUCTIBILITE ET JUSTESSE DES MESURES pXRF

Plusieurs points par acquisition pour vérifier la reproductibilité des résultats

Calcul du coefficient de variation (CV) = $\frac{\text{écart-type}}{\text{moyenne}} \times 100$

En réponse sur tous les éléments, pour tous les vitraux et les standards analysés, indépendamment du jour et de l'heure et de la température

CV = 2.5%



Comparaison aux valeurs de référence pour vérifier la justesse des résultats

Erreur relative entre les données pXRF traitées et les données de référence dépendante des éléments chimiques: SiO₂ -1%, K₂O -1%, CaO -6%, GaO et Fe₂O₃ -2%

Les compositions données par le pXRF et traitées à l'aide du protocole de calibration sont précises et justes (par rapport aux capacités d'un appareil portable)

PERFORMANCES

Fiabilité pour la région: ~80%

Fiabilité pour le siècle: ± 0.5 siècle

CONCLUSION

Le protocole ci-dessus permet de prédire avec un indice de confiance de 80% l'origine géographique d'un vitrail et son siècle de fabrication à l'aide de la composition chimique donnée par une analyse pXRF non-destructive de quelques dizaines de secondes

Les mesures sont reproductibles tant que la zone d'analyse ne contient pas trop de graville ou d'alutration

PERSPECTIVES

Enrichir la base de données de vitraux en nombre et en diversité géographique et donc améliorer les prédictions

Synthétiser des standards de mesures encore plus proches des compositions des vitraux du Moyen-Âge pour améliorer le protocole de calibration de l'appareil

Journées Verre

Du 13 au 15 novembre 2024



Participants aux Journées Verre 2024

Les journées nationales plénières de l'USTV (Union pour la Science et la Technologie Verrières) sont l'occasion d'un colloque, les Journées Verre, organisées chaque année par un laboratoire académique ou industriel membre de l'USTV. L'USTV regroupe 39 laboratoires académiques français ainsi que les industriels et les laboratoires associés, notamment Saint Gobain, Corning, Verallia, six laboratoires du CEA, Arc, Baccarat, AGC, SGD Pharma, Cetim Grand Est. Ce colloque permet ainsi de réunir l'ensemble de la communauté française travaillant dans tous les domaines relatifs aux matériaux vitreux, les industriels, les chercheurs, les enseignants-chercheurs, les professionnels garants du patrimoine, les artistes, les étudiants de master et de doctorat.

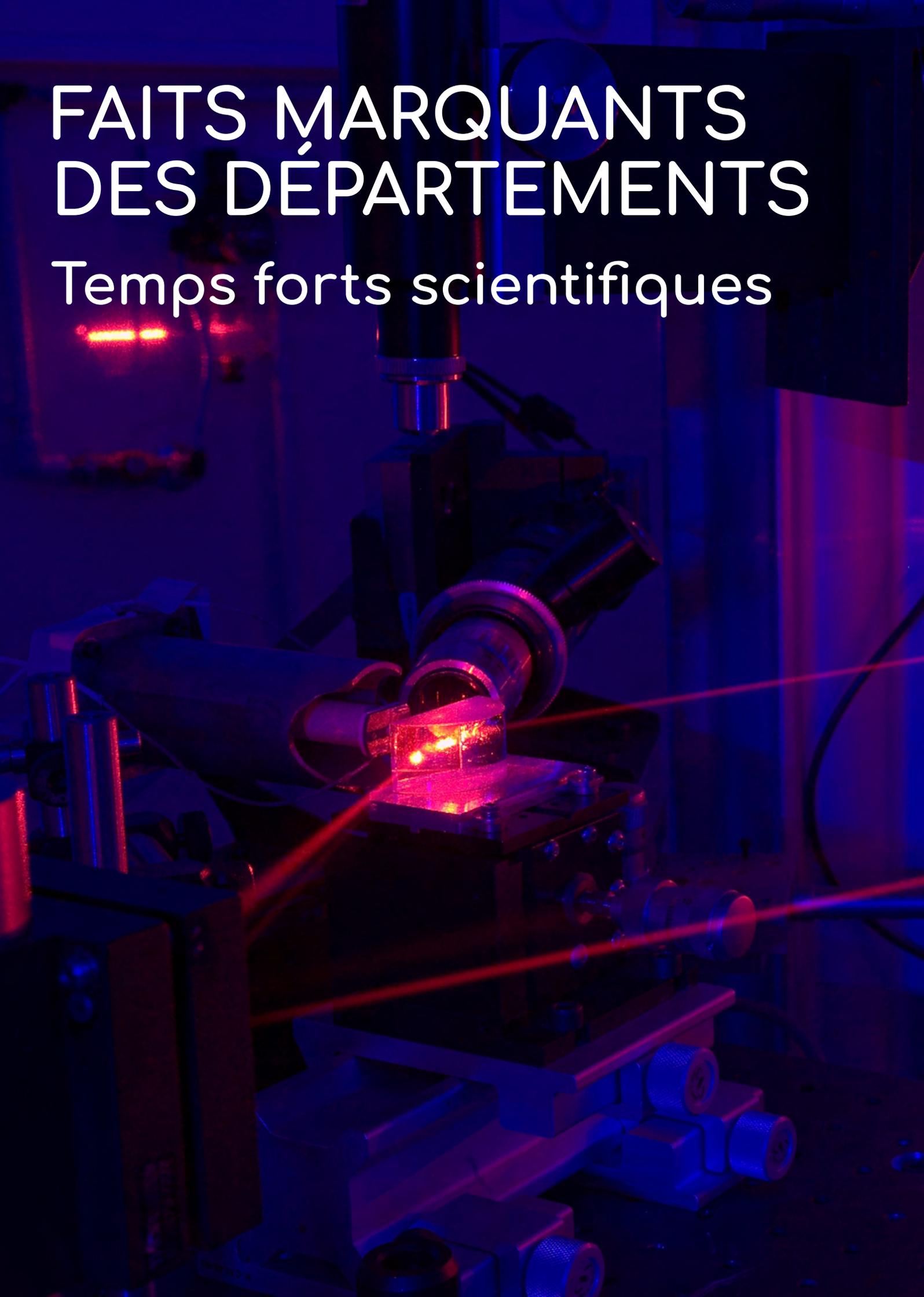
Ces journées sont l'occasion de présenter les avancées scientifiques et technologiques du domaine et d'échanger autour des enjeux liés à la science et à la technologie verrières, enjeux scientifiques comme enjeux industriels, notamment dans le cadre de la transition énergétique et de la décarbonation de l'industrie. Elles conduisent à initier des projets et des collaborations entre les différents acteurs de ce domaine scientifique et industriel. Par nature, ces journées sont pluridisciplinaires et traitent de tous les aspects des matériaux vitreux : physique, chimie, science des matériaux, optique, photonique, mécanique, énergie, transition énergétique, environnement, santé, télécommunication, alimentation, art, histoire, avec une ouverture vers les professionnels garants du patrimoine et les artistes.

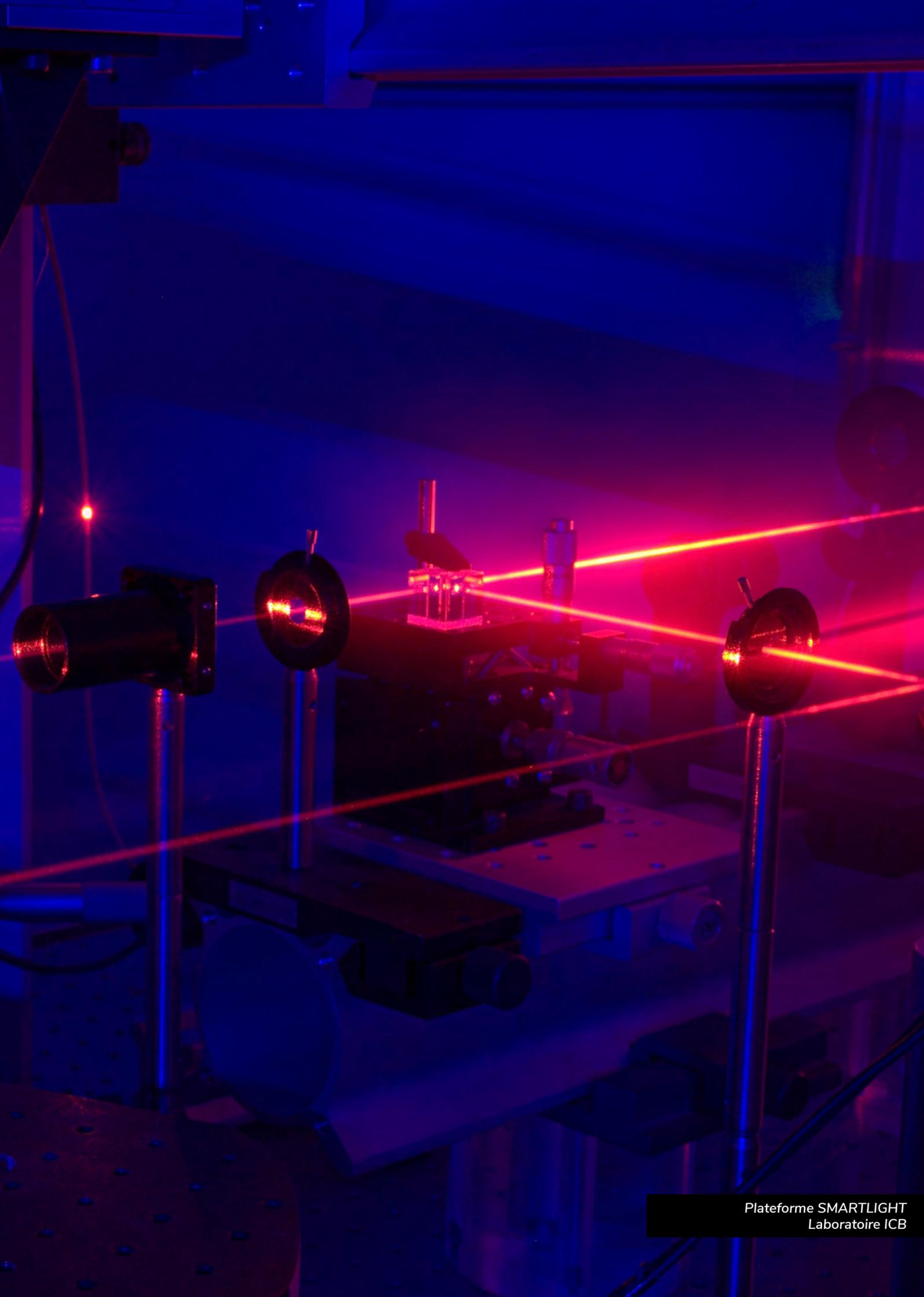
Elles se sont imposées au fil des années comme un événement majeur de la vie scientifique de la communauté verrière française. Elles se caractérisent par une ambiance favorisant questions et débats ainsi que la présentation de communications par des étudiants, des doctorants ou des jeunes chercheurs. Elles permettent de maintenir le contact entre la recherche académique et le monde de l'industrie. Elles sont la possibilité pour nos jeunes doctorants de commencer à constituer leur réseau professionnel et de leur faire découvrir le monde de l'industrie verrière, à travers les enjeux et les défis technologiques de cette industrie en matière de science des matériaux (chimie, physique, optique, mécanique, thermodynamique, thermique, énergie, durabilité, modélisation...), de mise en forme, de fonctionnalisation, de transition énergétique, de développement durable, de recyclage, d'environnement... L'industrie verrière est au cœur des défis de nos sociétés : vitrages basse émissivité pour la rénovation énergétique des bâtiments, fibres optiques et réseaux très haut débit, verre nucléaire pour le stockage des déchets radioactifs, verres et fibres lasers, nouvelles sources lumineuses infrarouge, nouveaux amplificateurs optiques pour la 5G, verres bioactifs pour le médical, etc.

C'est la première fois que le Laboratoire ICB organise les journées à Dijon, sur le campus Montmuzard en novembre 2024 (<https://ustverre.fr/agenda/journees-verre-dijon-2024/>). Elles ont été l'occasion de mettre en valeur l'Université de Bourgogne, l'ICB et la métropole Dijonnaise auprès des participants et ont regroupé plus d'une centaine de professionnels du domaine.

FAITS MARQUANTS DES DÉPARTEMENTS

Temps forts scientifiques





CO2M

CONCEPTION, OPTIMISATION, ET MODÉLISATION EN MÉCANIQUE

Directeur

Frédéric DEMOLY, Frederic.Demoly@utbm.fr

Directeur Adjoint

Sébastien ROTH, Sebastien.Roth@utbm.fr

Le département « Conception, Optimisation et Modélisation en Mécanique » (CO2M) se consacre à la création de nouvelles connaissances, méthodes et outils visant à accompagner les transformations profondes des paradigmes dans le développement et la fabrication de systèmes mécaniques complexes. En s'appuyant sur une expertise interdisciplinaire, il contribue à relever les défis technologiques et scientifiques liés à l'innovation mécanique. Les travaux de recherche menés au sein du département s'articulent autour de quatre thématiques principales :

- La conception avancée de systèmes mécanique intelligents, intégrant des fonctions adaptatives, évolutives et autonomes ;
- La modélisation et la simulation multi-physique, permettant de représenter et d'anticiper les interactions complexes entre différentes échelles et phénomènes physiques dans les systèmes mécaniques ;
- L'optimisation en mécanique, visant à améliorer les performances, la durabilité et l'efficacité des structures et des procédés de fabrication ;
- La dynamique des structures mécaniques, incluant les impacts et sollicitations dynamiques.

Pour garantir la cohérence et l'harmonie des activités du département, deux axes transversaux ont été définis : la fabrication additive et l'impression 4D de structures transformable, qui explore les potentialités des matériaux actifs pour réaliser des structures capables de répondre à des stimuli externes et de changer de forme de manière programmée ; et l'intelligence artificielle couplée à la vision, intégrant des techniques d'apprentissage automatique et de traitement multimodal pour optimiser les phases de développement et de fabrication des produits.

FAITS MARQUANTS

PROJETS DE RECHERCHE FINANCES



Projet ANR LABCOM LAMAE – Ce projet de laboratoire commun vise à ajouter l'étude des technologies émergentes de CoT (Chain-of-Thought) et multimodales (différents types de données telles que les images, vidéos, sons, etc.) des IA génératives et de les appliqués au domaine de métier de l'entreprise DAVI. Nous souhaitons explorer comment la génération d'une chaîne de pensées - une série d'étapes de raisonnement intermédiaires - améliore considérablement la capacité des grands modèles de langage à effectuer un raisonnement complexe. Ces capacités de raisonnement émergent de manière naturelle dans des modèles de langage suffisamment grands grâce à une méthode simple appelée incitation par chaîne de pensées. Ces chaînes de pensées couplées aux données d'entrée multimodales proposent une solution innovante pour la création d'agents autonomes et empathiques. Membre CO2M impliqué : Christophe CRUZ (coordinateur).

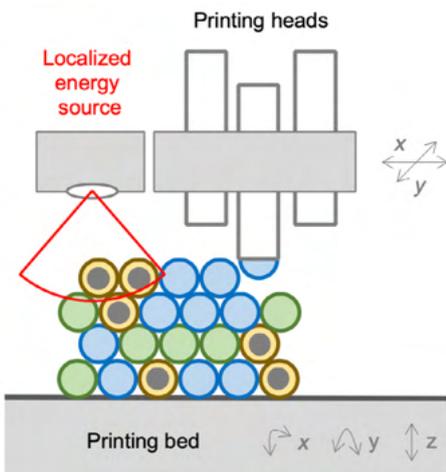


Fig. 1 Schéma d'un dispositif d'impression 3D/4D multi-matériaux à base de microfluidique.

Projet ANR PRCI VOXWRITE – Le projet VOXWRITE porte sur le développement d'un procédé d'impression 4D multi-matériaux nouveau pour réaliser des systèmes actifs disposant de très bonnes résolutions et d'une grande flexibilité en termes de choix de matériaux. Il utilise des voies microfluidiques pour produire et déposer des microgouttelettes de différentes natures (actives et inertes, voire chargées de micro-particules, voir Fig. 1). L'objectif de VOXWRITE est de réaliser une machine prototype intégrant une plateforme microfluidique adaptée permettant de fabriquer deux démonstrateurs pour le secteur du biomédical. Partenaires : EPFL et Microfluidic Innovation Center. Membres CO2M impliqués : Frédéric DEMOLY (coordinateur) et Johnny MOUGHAMES.



CONFERENCES INTERNATIONALES



4DMDA 2024 – Notre département a organisé les 4 et 5 juillet de cette année la troisième conférence internationale sur l'impression 4D, intitulée « 4D Materials Design and Additive Manufacturing ». Soutenue par la 4D Printing Society, cette conférence a réuni plus de 70 chercheurs internationaux avec des conférences plénières de renommée mondiale et plus de 40 présentations.

ECG 2024 – Notre département a organisé du 22 au 26 janvier 2024 la conférence francophone Extraction et Gestion des Connaissances (EGC). C'est un événement annuel réunissant des chercheurs et praticiens de disciplines relevant des sciences des données et des connaissances. Ces disciplines incluent notamment l'apprentissage automatique, l'ingénierie et la représentation de connaissances, le raisonnement sur des données et des connaissances, la fouille et l'analyse de données, les systèmes d'information, les bases de données, le web sémantique et les données ouvertes, etc. Des conférences plénières et plus de 40 présentations ont été programmées.

UNE NOUVELLE ARRIVÉE REPARTIE TROP VITE



Jean-Claude ANDRE est DRCE2 CNRS émérite au LRGP-UMR 7274 CNRS-UL à Nancy, conseiller auprès de la direction de l'Institut Ingénierie (anciennement INCIS) du CNRS. Après avoir été directeur scientifique adjoint de SPI-CNRS (1991-1995), il a été directeur scientifique de l'INRS (1995-2007). Ses activités ont concerné les interactions lumière-matière pour s'ouvrir aux relations sciences-société. Il travaille depuis 2018 avec le département CO2M sur le développement de l'impression 4D pour l'industrie. Jean-Claude a intégré le département en 2024 en tant que chercheur associé. Il s'est éteint dans sa 81ème année le 12 janvier 2025. Nous garderons le souvenir d'un homme exceptionnel, véritable puits de science, capable de transmettre avec passion et complicité aux jeunes générations.

Directeur

Hans-Rudolf JAUSLIN, Hans.Jauslin@u-bourgogne.fr

Directeur Adjoint

Vincent BOUDON, Vincent.Boudon@u-bourgogne.fr

Le département « Interactions et Contrôle Quantiques » (ICQ) réunit deux groupes de théoriciens dont les sujets de recherche se concentrent sur les systèmes quantiques et leurs interactions, Il est composé de 14 membres permanents, un professeur émérite, et un chercheur associé. Il comprend 5 chercheurs CNRS (2 Directeurs de Recherche, 1 Chargé de Recherche et 1 Ingénieur de Recherche en Physique et 1 Chargé de Recherche en Mathématiques), 5 professeurs en Physique, 3 maîtres de conférences dont 2 en Physique et 1 en Mathématiques, et une chaire professeur junior. Le département compte également avec 13 doctorants. Les domaines d'expertise théoriques et mathématiques sont très larges et complémentaires. Les travaux de recherche sont structurés autour de deux thématiques principales : la Physique Moléculaire et Atomique, et la Dynamique Quantique et les Technologies Quantiques, Ils incluent la spectroscopie moléculaire et atomique, la dynamique des collisions réactives moléculaires, la spectroscopie métrologique, le contrôle de systèmes quantiques par champs mis en forme, avec des applications en technologies quantiques, la nano-optique et plasmonique quantiques, l'information quantique, et la dynamique non-linéaire.

Le travail de ses membres est caractérisé par une approche largement interdisciplinaire, impliquant des collaborations fortes avec des équipes de Mathématiques, de Physique, de Chimie, de Planétologie et d'Astrophysique. Les deux groupes ont un grand nombre de collaborations avec des groupes expérimentaux, tant localement qu'au niveau national et international. Au niveau local nous avons des collaborations de longue date avec le département de Photonique de l'ICB (sur le contrôle de phénomènes de rotation moléculaire par impulsions laser intenses et ultra-courtes, en plasmonique quantique et en optique nonlinéaire dans les fibres). Nous avons aussi des collaborations de longue date avec l'Institut de Mathématiques de Bourgogne (IMB). Un groupe de travail a été mis en place entre le département ICQ et l'équipe de Physique Mathématique de l'IMB, avec des réunions et des séminaires réguliers. Au niveau régional nous avons des collaborations avec des collègues des laboratoires FEMTO-ST et UTINAM de Besançon. En particulier l'équipe MARS de ICQ est membre de l'OSU THETA « Observatoire des sciences de l'univers, terre homme, environnement, temps, astronomie de Franche-Comté-Bourgogne » - UMS 3245. Dans le cadre de l'EUR EIPHI Bourgogne Franche-Comté nous poursuivrons les collaborations scientifiques, ainsi que la mise en place de nouveaux projets dans le cadre d'appels nationaux et internationaux. Nous avons aussi des projets de thèse en collaboration avec le CEA (silane et dérivés pour la séparation isotopique et analyse de pureté d'échantillons).

Au niveau international les partenariats du département ICQ sont nombreux, dans des cadres de réseaux Européens, ainsi que par exemple des ANR France-Allemagne. Les partenariats internationaux hors Europe, avec l'Arménie, la Russie, et la Chine se concrétisent par un nombre important de collaborations scientifiques et des échanges d'étudiants et des thèses en cotutelle.

L'équipe MARS est spécialisée en spectroscopie moléculaire et atomique ainsi qu'en dynamique réactionnelle moléculaire. Ses travaux trouvent des applications variées, notamment en physique atmosphérique et environnementale, en astrophysique, en planétologie, et en métrologie de haute précision. Elle est engagée dans la diffusion de données de spectroscopie moléculaire, notamment à travers la mise en place de bases de données et de logiciels. De plus, la médiation et la diffusion de la culture scientifique est une préoccupation essentielle de l'équipe, que ce soit auprès des scolaires ou du grand public.

L'équipe DyTeQ réunit des physiciens, chimistes et mathématiciens spécialisés dans les technologies quantiques. Le but général est de modéliser, analyser, simuler et contrôler la dynamique des systèmes quantiques, avec une expertise particulière sur son contrôle optimal par des champs électromagnétiques (laser, cavité QED, plasmonique), sur les ressources énergétiques (et thermodynamiques) mises en jeu, ainsi que sur la dynamique quantique moléculaire.

En s'appuyant sur des techniques mathématiques en théorie des systèmes dynamiques, géométrie différentielle, théorie des champs et du contrôle et par le développement d'outils numériques originaux tels que MCTDH ou se basant sur le contrôle optimal, elle contribue à différents domaines des technologies quantiques allant du calcul quantique, des simulations et mesures quantiques, au contrôle moléculaire, à la chimie quantique et à la nanophotonique quantique. Un article de revue sur le contrôle optimal quantique vient de paraître :

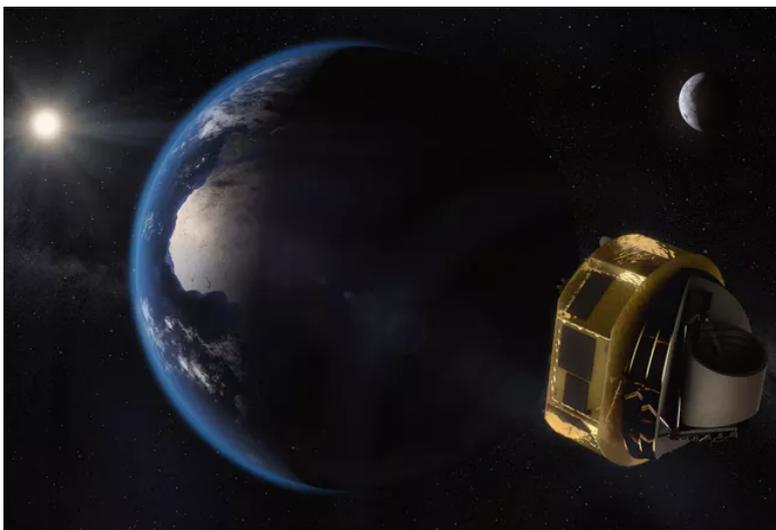
Q. Ansel, E. Dionis, F. Arrouas, B. Peaudecerf, S. Guérin, D. Guéry-Odelin and D. Sugny, Introduction to Theoretical and Experimental aspects of Quantum Optimal Control, J. Phys. B 57, 133001 (2024).

Grâce à de nombreuses collaborations expérimentales, ces approches sont appliquées aux atomes froids, aux qubits supraconducteurs, au contrôle de photons uniques en cavité et à la femtochimie. Des développements expérimentaux de calcul quantique sur les centres colorés sont également mis en œuvre depuis peu dans notre équipe.

FAITS MARQUANTS

Équipe MARS (Molecules, Atoms, Reactivity and Scattering)

MISSION ARIEL : VERS UNE NOUVELLE ÈRE DE DONNÉES POUR L'ÉTUDE DES EXOPLANÈTES ET DES ÉTOILES FROIDES



Ce « livre blanc » (White Paper), co-écrit par deux chercheurs du laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (CNRS/Université de Bourgogne) en collaboration avec l'University College de Londres, offre une vue d'ensemble sur l'état actuel des données et les besoins futurs pour étudier les atmosphères des exoplanètes et des étoiles froides, dans le cadre de la mission spatiale Ariel (Atmospheric Remote-sensing Infrared Exoplanet Large survey). Ce document propose des recommandations essentielles pour mieux coordonner les ressources et encourager la coopération entre ceux qui fournissent et ceux qui utilisent ces données.

Prévue pour un lancement en 2029 par l'Agence spatiale européenne (ESA), la mission Ariel se concentrera sur l'analyse de l'atmosphère d'exoplanètes, ces planètes situées en dehors de notre Système solaire. Grâce à l'étude de leur composition chimique et de la structure de leurs atmosphères, Ariel aidera les scientifiques à mieux comprendre la formation des planètes et l'évolution des systèmes planétaires.

Ce livre blanc a pour but de structurer et de centraliser les données existantes sur ces objets célestes et certaines étoiles froides. Il examine les besoins et les défis pour obtenir des données précises et fiables, indispensables à l'étude des atmosphères planétaires.

Les auteurs couvrent un large éventail de sujets, des listes de raies moléculaires et atomiques aux propriétés optiques des aérosols, en passant par la chimie atmosphérique et les sections efficaces de photodissociation en UV. Pour favoriser l'accès aux données et renforcer la collaboration, une plateforme GitHub (<https://github.com/Ariel-data>) a été mise en place, offrant un espace commun pour le partage et le lien vers des ressources précieuses pour les utilisateurs et les fournisseurs de données.

En établissant un standard commun, cette initiative marque une avancée majeure pour la mission Ariel et pour la recherche sur les exoplanètes. À terme, l'objectif est de renforcer la précision des analyses atmosphériques, ouvrant la voie à de nouvelles découvertes.

Katy L Chubb, Séverine Robert, Clara Sousa-Silva, Sergei N Yurchenko, Nicole F Allard, Vincent Boudon, Jeanna Buldyreva, Benjamin Bultel, Athena Coustenis, Aleksandra Foltynowicz, Iouli E Gordon, Robert J Hargreaves, Christiane Helling, Christian Hill, Helgi Rafn Hrodmarsson, Tijs Karman, Helena Lecoq-Molinos, Alessandra Migliorini, Michaël Rey, Cyril Richard, Ibrahim Sadiék, Frédéric Schmidt, Andrei Sokolov, Stefania Stefani, Jonathan Tennyson, Olivia Venot, Sam O M Wright, Rosa Arenales-Lope, Joanna K Barstow, Andrea Bocchieri, Nathalie Carrasco, Dwaipayan Dubey, Oleg Egorov, Antonio García Muñoz, Ehsan (Sam) Gharib-Nezhad, Leonar-dos Gkouvelis, Fabian Grübel, Patrick Gerard Joseph Irwin, Antonín Knížek, David A Lewis, Matt G Lodge, Sushuang Ma, Zita Martins, Karan Molaverdikhani, Giuseppe Morello, Andrei Nikitin, Emilie Panek, Miriam Rengel, Giovanna Rinaldi, Jack W Skinner, Giovanna Tinetti, Tim A van Kempen, Jingxuan Yang, Tiziano Zingales, Data availability and requirements relevant for the Ariel space mission and other exoplanet atmosphere applications, RAS Techniques and Instruments, Volume 3, Issue 1, January 2024, Pages 636–690, <https://doi.org/10.1093/rasti/rzae039>

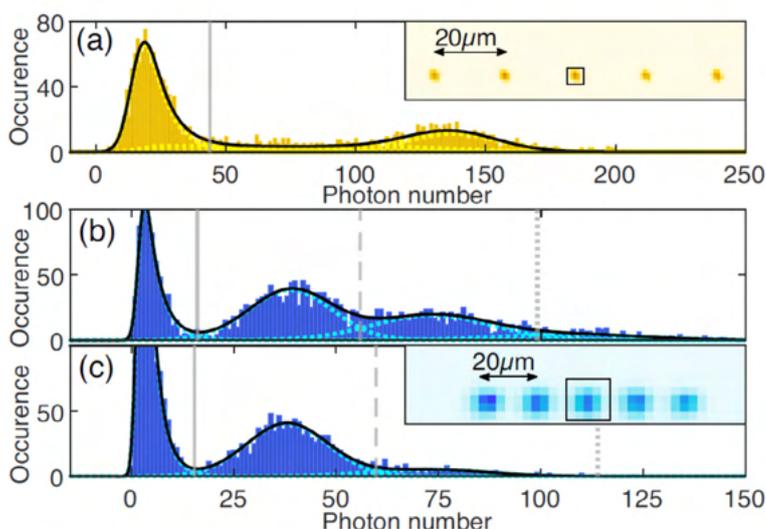
UNE ÉTAPE IMPORTANTE FRANCHIE DANS LA DESCRIPTION DE LA FORMATION DE L'OZONE

Des travaux récemment publiés [G. Guillon, P. Honvault, Physical Review Research 6, 043181 (2024)] ont mené à une meilleure description et compréhension du processus de formation de l'ozone métastable O_3^* via le quasi-équilibre $O + O_2 \rightleftharpoons O_3^*$ qui est une étape clé dans la réaction globale de formation de l'ozone stratosphérique O_3 (à savoir $O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$ où M est par exemple N_2). Une approche purement quantique a permis d'obtenir la constante de quasi-équilibre de ce processus, ce qui permet d'espérer de résoudre prochainement le problème de l'anomalie isotopique de l'ozone qui demeure toujours un mystère plus de 40 ans après sa découverte dans la stratosphère.

COLLABORATION THÉORIE - EXPÉRIENCE SUR LE PIÉGEAGE D'ATOMES UNIQUES ULTRA-FROIDS DANS UN RÉSEAU DE PINCES OPTIQUES

Avec le support théorique de Maxence Lepers (équipe MARS), l'équipe expérimentale dirigée par Francesca Ferlaino (Université d'Innsbruck) a démontré pour la première fois, le piégeage d'atomes uniques d'erbium ultra-froids dans un réseau de pinces optiques. Celles-ci sont des puits de potentiel extrêmement étroits obtenus grâce à des faisceaux lasers extrêmement focalisés. Lorsque deux atomes ou plus sont présents dans une pince, ils sont éjectés par collisions, laissant finalement un atome par site. L'évolution temporelle du nombre d'atomes a été continuellement monitorée au cours du processus d'éjection à l'aide d'une large transition atomique. Ce travail représente une avancée prometteuse pour la simulation quantique avec des gaz dipolaires en pinces optiques.

Ces résultats ont été publiés dans Phys. Rev. Lett. 133, 223402 (2024), article sélectionné comme suggestion de l'éditeur : <https://physics.aps.org/articles/v17/s151>.



Dans le cadre de la thèse de Gohar Hovhannesian, encadrée par Maxence Lepers et Vincent Boudon, un modèle théorique a été élaboré afin de décrire les propriétés luminescentes de cristaux dopés aux ions de terres rares. Ce modèle, étendant le modèle existant de Judd-Ofelt, reproduit avec un bon accord les intensités de transitions expérimentales et permet de prédire des quantités difficiles à mesurer telles que les durées de vie radiatives.

Publication associée : [Extension of Judd-Ofelt theory: Application on \$Eu^{3+}\$, \$Nd^{3+}\$ and \$Er^{3+}\$, Journal of Luminescence 266, 120234 \(2024\).](#)

SPECTROSCOPIE ATOMIQUE SUB-DOPPLER AVEC DES CELLULES D'ÉPAISSEUR NANOMÉTRIQUE ET MICROMÉTRIQUE

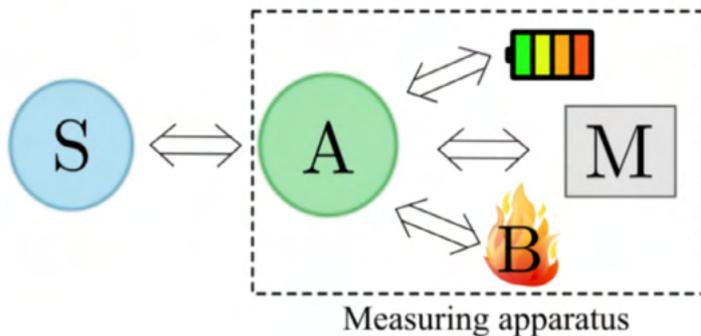
Le doctorant Rodolphe Momier, co-encadré par C. Leroy (ICB) et A. Papoyan et A. Sargsyan (Académie des Sciences d'Arménie) a effectué des travaux sur divers aspects de la spectroscopie sub-Doppler, allant des études fondamentales de l'effet Zeeman aux processus de pompage cohérent, en utilisant des cellules spectroscopiques fines d'épaisseur nanométrique et micrométrique.

Ils ont donné une description théorique complète du comportement d'une vapeur de sodium dans un champ magnétique allant jusqu'à 10 000 Gauss ainsi qu'un cadre théorique complet calculant l'annulation du moment dipolaire et les valeurs de champ magnétique pour lesquelles les transitions Zeeman des atomes alcalins sont annulées. Ces valeurs dépendent uniquement de constantes physiques et peuvent servir de références pour l'étalonnage de magnétomètres. La formation de résonances EIT dans des champs magnétiques forts a été étudiée théoriquement et expérimentalement, montrant une faisabilité pour le verrouillage de la fréquence laser sur des fréquences fortement décalées. Enfin, nous avons exploré la formation de résonances N étroites et avons examiné l'effet d'un gaz tampon supplémentaire sur leur largeur et leur contraste. L'intérêt fondamental est que les résonances N sont des candidates prometteuses pour des étalons de fréquence atomique pouvant être réalisés avec des lasers à diode disponibles dans le commerce.

Équipe DyTeQ (Dynamique et Technologies Quantiques)

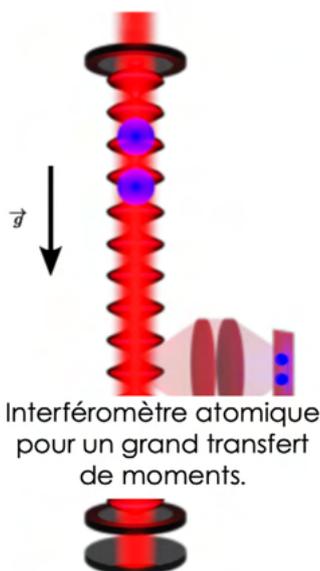
COÛT ÉNERGÉTIQUE DE LA MESURE QUANTIQUE PAR LA THERMODYNAMIQUE QUANTIQUE

Publication dans la revue Quantum : [C. L. Latune, C. Flouard: A thermodynamically consistent approach to the energy costs of quantum measurements, Quantum 9, 1614 \(2025\)](#), d'un article sur le coût énergétique de la mesure quantique en utilisant le formalisme thermodynamique quantique.



Un des résultats importants est l'obtention d'un coût énergétique minimal qui dépend de la qualité de la mesure. De plus, les contributions additionnelles dues à l'irréversibilité sont identifiées et quantifiées précisément. Cela débouche sur un compromis entre coût énergétique et rapidité de la mesure, ainsi qu'un compromis entre coût énergétique et qualité de la mesure.

L'INTERFÉROMÉTRIE ATOMIQUE SOUS CONTRÔLE



Le contrôle de la cohérence quantique avec des atomes froids a fait de l'interférométrie atomique un outil essentiel pour les capteurs quantiques et les mesures de précision. Les performances de ces interféromètres sont étroitement liées à la création de grandes séparations de paquets d'ondes. Nous présentons ici une nouvelle approche pour séparer des faisceaux atomiques basée sur la stabilisation stroboscopique des particules quantiques dans un réseau optique accéléré. L'état de Floquet correspondant est généré par des protocoles de contrôle optimal. Nous avons ainsi réalisé un interféromètre avec une séparation sans précédent entre ses deux bras tout en étant très robuste par rapport à la vitesse initiale du paquet d'ondes et des fluctuations de la profondeur du réseau optique.

Un article a été publié dans Nature Comm. 15, 10281 (2024) : [Optimal Floquet state engineering for large scale atom interferometers, T. Rodzinka, E. Dionis, L. Calmels, S. Beldjoudi, A. Béguin, D. Guéry-Odelin, B. Allard, D. Sugny, A. Gauguet](#). Ce travail fait partie de la thèse d'E. Dionis, encadrée par D. Sugny.

OPTIQUE QUANTIQUE AVEC PHOTONS UNIQUES

La thèse de A. Saharyan, encadrée par S. Guérin, en collaboration avec l'équipe de Axel Kuhn de l'Université de Oxford a donné lieu à une publication : Effective models for quantum optics with multilayer open cavities (arXiv : 2410.06379).

D'autre part la thèse de M. Federico, encadrée par H.R. Jauslin, a mené à un article à Journal of Physics A sur les propriétés non-locales des photons produits par émission spontanée.

QUANTIFICATION CANONIQUE EXACTE DES PLASMONS-POLARITONS DANS DES MILIEUX NANOSTRUCTURÉS

Les travaux de la thèse de G. Semin, co-encadré par H.R. Jauslin et S. Guérin, ont donné lieu à une publication Physical Review A 110, 043514 (2024). Cet article est une avancée majeure dans le domaine. Il démontre que les propriétés quantiques des plasmons-polaritons peuvent être exprimées par des formules explicites exactes en termes des fonctions de Green classiques.

ALGORITHMES POUR ORDINATEURS QUANTIQUES

Dans le cadre des thèses de G. Amouzou (thèse en co-tutelle avec l'Université de Lomé et soutenue au Togo le 9/12/2024) et de C. Kelleher, encadrées par F. Holweck, un ensemble d'articles a été publié sur les jeux quantiques et leur implémentation sur des ordinateurs quantiques mais également sur des mesures de non-localités et des inégalités contextuelles testées aussi sur des machines quantiques : Quantum Information Processing 23, 187 (2024) ; Physica Scripta 99, 095122 (2024). La collaboration de F. Holweck avec l'entreprise ColibriTD se poursuit et a abouti à la formulation d'un algorithme hybride quantique-classique pour la solution d'équations différentielles (arXiv : 2411.15536). Les interactions avec la start-up parisienne se déclinent aussi pour la pédagogie avec l'utilisation de leur librairie MPQP dans le Master QuanTEEM pour écrire et exécuter des algorithmes quantiques.

CONTRÔLE DES SYSTÈMES QUANTIQUES NON-LINÉAIRES

Les travaux de la thèse de Jingjun Zhu, encadrée par S. Guérin, ont donné lieu à un article : Control of nonlinear quantum systems: From nonlinear Rabi oscillations to robust two-stage optimal inverse engineering, Phys. Rev. A 110, 063503 (2024). Il montre des résultats majeurs de contrôle lorsque le système quantique est décrit par une équation de Schrödinger non-linéaire (comme les condensats denses de Bose Einstein en réseau optique).

Colloque Quantum Carnot

Du 25 au 27 novembre 2024

Organisé par C.L. Latune, M. Sala, D. Sugny et S. Guérin (ICB) et C. Elouard du LPCT de l'Université de Lorraine - <https://www.quanteem.eu/carnot-workshop/>



Cette conférence avait pour objectif de rassembler des chercheurs travaillant sur la thermodynamique quantique et les systèmes quantiques ouverts. Ce fut aussi l'occasion de célébrer les 200 ans de la publication du célèbre livre « Réflexions sur la puissance motrice du feu » de Sadi Carnot, qui a donné naissance à la Thermodynamique. La conférence s'est déroulée sur le campus de l'Université de Bourgogne, du 25 au 27 novembre 2024 à Dijon, rappelant que la famille Carnot était très attachée à la Bourgogne. La conférence a également été diffusée en ligne via zoom.

De plus, cette conférence a été l'occasion pour les étudiants du Master Erasmus Mundus QuanTEEM d'assister et de bénéficier d'une série d'exposés sur des sujets au cœur de leur formation en technologies quantiques. Cette conférence a aussi bénéficié du soutien financier du projet QuanTEdu-France.



INTERFACES

Directeur

Jérôme ROSSIGNOL, Jerome.Rossignol@u-bourgogne.fr

Directeur Adjoint

Bruno DOMENICHINI, Bruno.Domenichini@u-bourgogne.fr

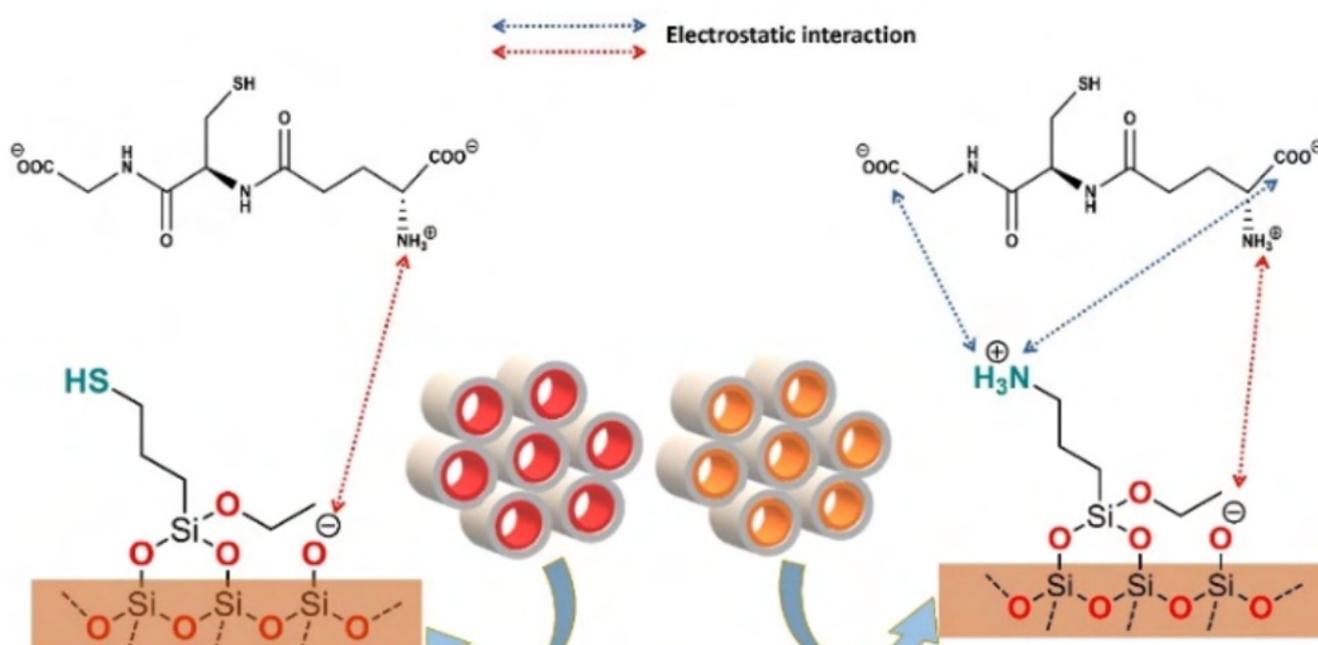
La réactivité aux interfaces (solide/solide, liquide/solide, liquide/gaz) est la clef de voûte des activités de recherches du département Interfaces regroupant physico-chimistes et chercheurs en capteurs. Les études explorent au moyen d'expériences et simulations les mécanismes d'adsorption, de transport tout en examinant les processus liés à la dissolution, à la nucléation/croissance et à la solidification.

ARTICLES

FUNCTIONALIZATION OF SBA-15 MESOPOROUS SILICA WITH AMINE AND THIOL FOR HIGHLY EFFICIENT ADSORPTION OF GLUTATHIONE FROM AQUEOUS SOLUTIONS: CHARACTERIZATION AND MODELING STUDIES

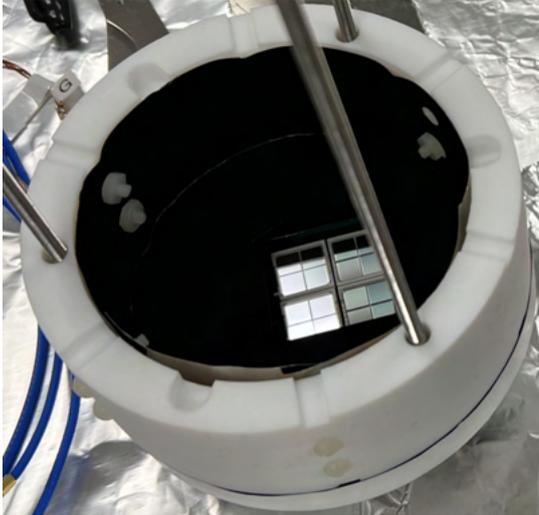
Cet article étudie l'influence de la chimie de surface de matériaux mésoporeux de type SBA-15 sur l'adsorption d'une molécule d'intérêt pharmaceutique, le glutathion. Nous avons comparé le comportement d'une silice SBA-15 non fonctionnalisée avec des silices SBA-15 fonctionnalisées avec des groupements amine (SBA-15-NH₂) ou thiol (SBA-15-SH). Quelle que soit la fonctionnalisation, l'adsorption a eu lieu principalement par des interactions électrostatiques avec une plus grande capacité d'adsorption pour la silice SBA-15-NH₂.

L. Chaabane, M. Nikolantonaki, A. Assifaoui, I. Bezverkhyy, G. Weber, and F. Bouyer Functionalization of SBA-15 mesoporous silica with amine and thiol for highly efficient adsorption of glutathione from aqueous solutions: characterization and modeling studies, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 152 (Novembre 2023) 105169. DOI : 10.1016/j.jtice.2023.105169.



Étude de l'influence de la fonctionnalisation de silice mésoporeuse SBA-15 pour l'adsorption de glutathionne.

IMPACT OF EXTREME ULTRAVIOLET RADIATION ON THE SCINTILLATION OF PURE AND XE-NON-DOPED LIQUID ARGON



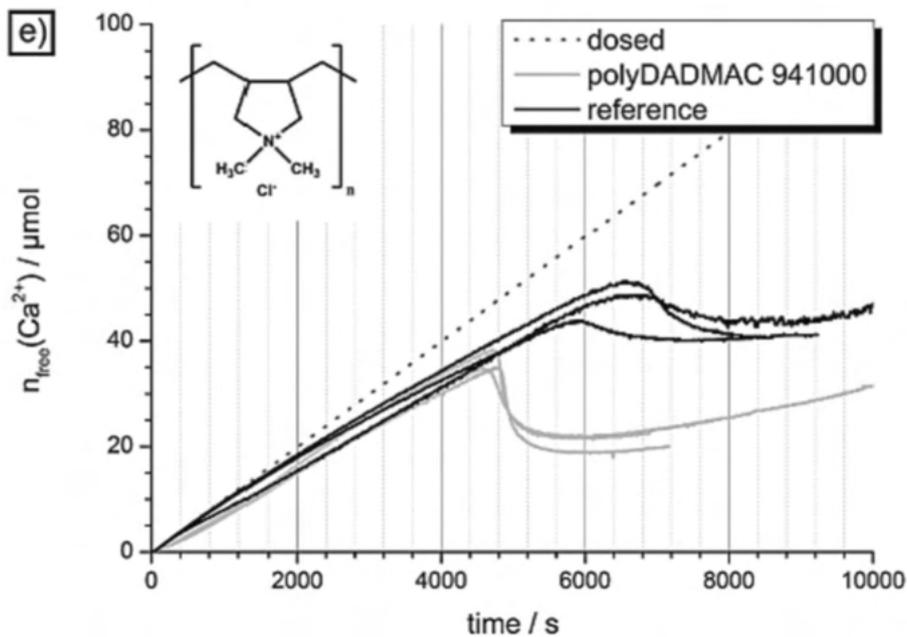
La présence de xénon améliore l'utilisation de cette technologie de détecteurs à base d'argon liquide (LAr) en la rendant plus sensible et en présentant un spectre de détection plus étendu, cela a aussi un intérêt pour des applications médicales comme pour les Positron Emission Tomography. La contribution, et le sujet la thèse de Quentin Berger, concerne principalement l'étude par simulation moléculaire des conditions de stabilité des bains d'argon qui doivent rester liquide tout en ayant une quantité de xénon importante. Ce travail est fait en collaboration avec des expérimentateurs de l'école des Mines de Paris, CEEP de Fontainebleau sur les aspects thermodynamiques et avec le consortium international Xart pour le développement des nouveaux détecteurs.

P. Agnes, Q. Berger, M. Bomben et al. *Impact of extreme ultraviolet radiation on the scintillation of pure and xenon-doped liquid argon*.

À paraître dans *Physical Review D* accessible actuellement sur ArXiv :

<https://arxiv.org/html/2410.22863v1>

NUCLÉATEUR : INFLUENCE DE POLYMÈRES SUR LA NUCLÉATION DE L'HYDRATE PRINCIPAL DU CIMENT



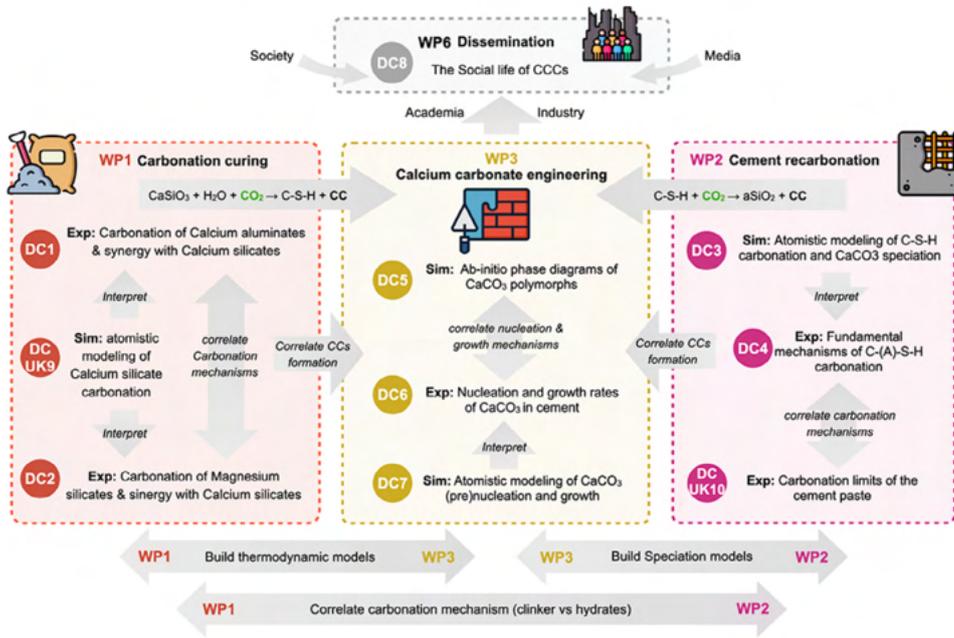
Dans une étude récente publiée dans *cement and concrete research* un nouveau polymère organique a été identifié ayant la propriété d'accélérer la précipitation de l'hydrate principal du ciment, le silicate de calcium hydraté. D'une manière générale ces molécules dites nucléateurs sont très rares. A titre d'exemple, pour le carbonate de calcium, l'un des minéraux les plus étudiés et les mieux compris en ce qui concerne la nucléation et la croissance des cristaux, aucun additif de ce genre n'a été trouvé à ce jour.

A. Picker, L. Nicoleau, A. Nonat, C. Labbez, H. Cölfen, *Influence of polymers on the nucleation of calcium silicate hydrates*, *Cement and Concrete Research* 174 (décembre 2023) 107329.

<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107329>

FAITS MARQUANTS

ANR ASPIRIN (ANR-24-CE52-4833-02) Frédéric BOUYER (Responsable WP) : collaboration Université de Bourgogne – Université de Franche-Comté
 Dotation ANR : 689 k€ dont dotation équipe ASP : 289 k€



Les maladies inflammatoires chroniques de l'intestin (MICI) sont de plus en plus décrites comme associées à une défaillance du processus de résolution de l'inflammation. Ce projet a pour objectif de développer des leurres à base de particules de silice fonctionnalisées par des groupements de type sérine afin de mimer des corps apoptotiques et ainsi réenclencher la résolution au niveau des lésions intestinales par l'administration orale de substituts et ainsi régénérer le tissu.

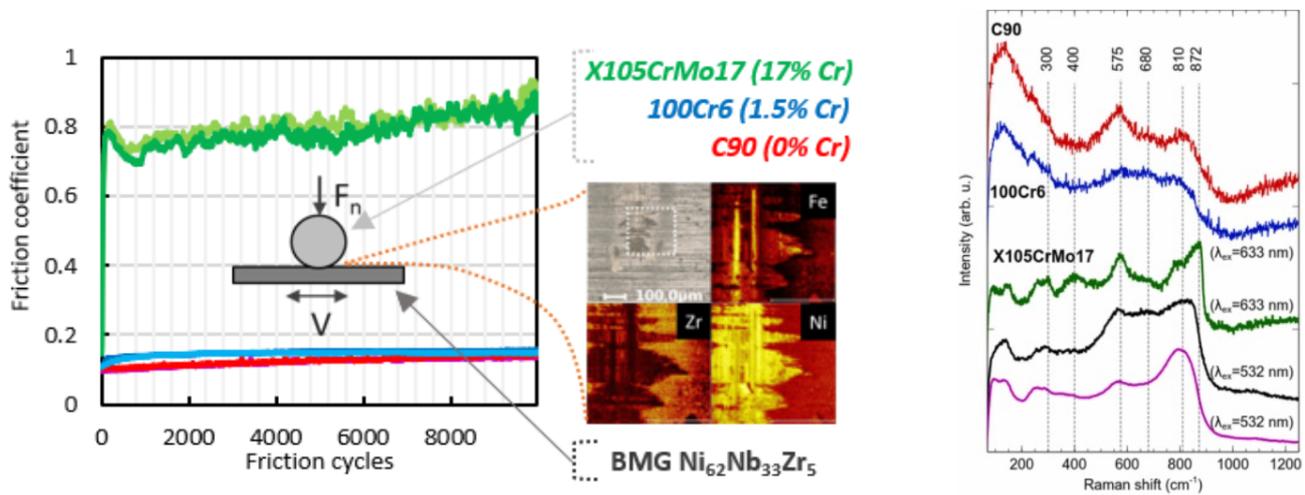
Projets européens :

Le projet Européen CONTRABASS (101119715, HORIZON-MSCA-2022-DN-01) pour « Zero- CO_2 cement ThRough cArBonation of cAlcium Silicates and aluminatES » a débuté au 1er janvier 2024. Ce projet porte sur la valorisation et le stockage du CO_2 par le recyclage du ciment. Jeswin Jiji, doctorant dans l'équipe PCMC2 a commencé sa thèse dans ce cadre. Il se concentrera sur la modélisation moléculaire de la carbonatation de l'hydrate principal du ciment. Les propositions de projet ADVANCE et CODICE portant respectivement sur l'impression 3D du béton et les accélérateurs de prise pour les ciments bas carbone ont été soumises à la Commission Européenne en réponse à l'édition de ses appels à projets HORIZON-MSCA-2024-DN-01-01 et HORIZON-EIC-2024-PATHFINDERCHALLENGES-01-02

CHIMIE DE SURFACE ET COMPORTEMENT TRIBOLOGIQUE

Une collaboration s'est nouée récemment entre les laboratoires FEMTO-ST et ICB pour l'étude de la tribochimie de surfaces. La thématique, développée initialement par Guillaume Colas (FEMTO-ST) a en effet trouvé au département INTERFACES (L. Imhoff et M. C. Marco de Lucas) et au DTAI (O. Heintz) de l'ICB les compétences nécessaires en analyse de surfaces (spectroscopie Raman, SIMS, XPS) pour caractériser et interpréter les mécanismes physico-chimiques qui interviennent lors d'un processus de frottement.

Le travail a notamment concerné le comportement tribologique de verres métalliques de type $\text{Ni}_{62}\text{Nb}_{33}\text{Zr}_5$ en fonction de la composition de l'élément glissant, plus particulièrement la teneur en chrome de la bille d'acier utilisée pour réaliser les tests. Les mesures initiales ont montré que le coefficient de frottement en régime permanent était très sensible à ce paramètre puisqu'il passe de 0,13 à 0,85 lorsque la teneur en chrome passe de 0 % à 17 % (avec une valeur intermédiaire à 0,15 pour une teneur en chrome de 1,5 %). Des analyses chimiques détaillées ont alors révélé que l'augmentation de la teneur en chrome favorise la perte de Nb_2O_5 ductile des oxydes protecteurs FeNbO_4 et NiNb-O en faveur des oxydes NiCrO , CrNbO_4 , NiFe-O et de l'oxyde de Cr(VI). Ce travail a donné lieu à une première publication [1].



La collaboration se poursuit dans le cadre du projet CoUNTri (Contamination Utile en Tribologie : adsorber la contamination de l'air pour lubrifier) financé par l'INSIS. L'objectif et l'originalité de ce projet est d'utiliser intentionnellement la contamination par l'air ambiant pour contrôler et diminuer le frottement et l'usure en mettant intelligemment à profit les propriétés de films minces nanostructurés utilisés comme absorbeurs de cette contamination. Des résultats préliminaires ont été présentés lors d'un congrès récent [2].

[1] Tribochemistry dependence of Ni₆₂Nb₃₃Zr₅ bulk metallic glass on the Cr content of steel counterparts. Guillaume Colas, María del Carmen Marco de Lucas, Luc Imhoff, Olivier Heintz, Rémi Daudin, Alexis Lenain, Sébastien Gravier, Pierre-Henri Cornuault. Tribology International 198 (2024) 109923- <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2024.109923>

[2] Effect of traces of ethanol airborne contamination on the tribological behaviour of SnO₂ coating, présentée au 49th Leeds-Lyon Symposium on Tribology – September 2-4, 2024, Lyon.

ORGANISATION ET PARTICIPATION DU WORKSHOP ANNUEL D'IEEE SENSORS FRANCE

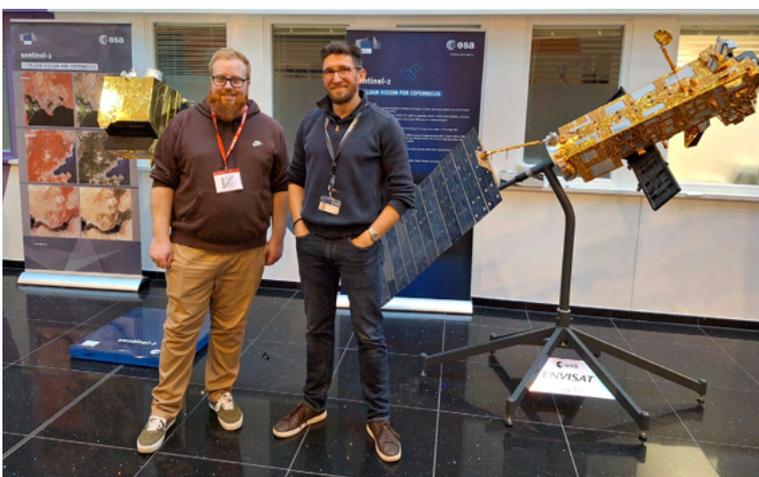


Oraux du département

- Léo Simon, Dielectric oxides by microwave synthesis and development as sensitive material in ammonia microwave gas sensor;
- Marie Olivier, Potential of zeolitic materials in capturing VOCs.

RÉUNION DE FIN DU PREMIER PROJET ICB DEPARTEMENT INTERFACES AGENCE SPATIALE EUROPÉENNE (ESA)

Présentation des travaux par Alexis Lasserre - Responsables projet : C. Dupont et J. Rossignol.



THÈSES SOUTENUES

THÈSE D'ALAN ZERROUKI

9 Février 2024 « Compréhension et optimisation du procédé de dépôt par électrophorèse en mode pulse en milieu aqueux de nanoparticules modèles et d'intérêt industriel », encadrants : F. Bouyer et B. Vuillemin (Département PMDM).

Cette thèse avait pour objectif d'étudier les mécanismes à l'origine de la formation de dépôts par électrophorèse en régime pulsé et en milieu aqueux. L'objectif de cette étude était aussi d'optimiser le procédé EPD en termes de vitesse et de qualité de dépôt, en faisant appel à des suspensions de nanoparticules de silice présentant certaines caractéristiques géométriques et physicochimiques. Les cinétiques de dépôt par EPD ont été simulées à travers un modèle par éléments finis et un modèle électrochimique. Ainsi, l'hypothèse d'un mécanisme étendu de la théorie DLVO incluant une diminution du pH résultant de l'oxydation de l'eau a été mise en évidence dans le domaine des basses fréquences en régime pulsé. L'acidification du milieu a pu être limitée par diminution du rapport cyclique, donc en augmentant la période de relaxation du potentiel en régime pulsé, et en opérant à hautes fréquences ($f > 1000$ Hz).

THÈSE D'EDUARDO HERNANDO-ABAD

24 juin 2024 : « Nanoparticules de silice mesoporeuses : stabilité colloïdale et fonctionnalisation pour la formulation de nanovecteurs à visée anticancéreuse », encadrants : F. Bouyer et L. Saviot (Département Nanosciences) - (coll. avec Pr S. Roux, Besançon).

Au cours de ces travaux de thèse, des nanoparticules de silice mésoporeuses ont été synthétisées afin d'être utilisées comme vecteurs pour délivrer un agent anticancéreux, le cisplatine. Afin d'assurer la stabilité colloïdale de ces nanoparticules, deux alternatives ont été envisagées : le greffage d'un copolymère peigne et le greffage de nanoparticules d'or de très petite taille. Par greffage du copolymère, nous avons montré qu'il était possible d'encapsuler des quantités importantes d'agents anticancéreux et que ces nanoparticules pouvaient libérer de façon contrôlée l'agent anticancéreux avec un effet cytotoxique comparable au cisplatine seul. La chimie de surface des nanoparticules d'or constituées de fonctions spécifiques a permis de complexer des ions gadolinium, ce qui a été confirmé par une étude IRM. Une première étape de construction d'un lien clivable entre les nanoparticules de silice et d'or a été étudiée afin de pouvoir contrôler la libération de l'agent cancéreux.

THÈSE DE JULIA JOURDAN

7 mai 2024 : « Rôle de l'aluminium dans la réactivité pouzzolanique des métakaolins, replacé dans le contexte général de la pouzzolanité pour des ciments à bas taux de CO_2 », encadrants : L. Galois (Sorbonne Université) et S. Gauffinet - Thèse CIFRE France Ciment, collaboration Sorbonne Université-ICB.

L'objectif de cette thèse était d'une part, de mieux comprendre la structure des métakaolins, et l'influence du processus de calcination sur cette structure, à travers une approche multi-technique (DRX, ATG, FT-IR). On s'est intéressé plus particulièrement à l'environnement local autour de l'Al en utilisant la RMN-MAS du solide de l'Al²⁷ et la spectroscopie XANES au seuil K de l'Al. D'autre part, il s'agissait d'appréhender les relations structure-réactivité et d'identifier le rôle de l'Al dans la réactivité des métakaolins, à partir des essais de réactivité R3 par calorimétrie isotherme et de résistance mécanique sur des ciments de type LC3. Cette étude a été menée à partir d'un échantillonnage de différents kaolins calcinés en four flash et en four à moufle à différentes températures.

THÈSE DE FRANCK TITRE

19 septembre 2024 : « Développement d'un système de vision cosmétique pour des flacons pharmaceutiques en verre borosilicate », encadrants : F. Mairesse, Y. Voisin.

Cette thèse industrielle traite de la détection et l'identification automatique de défauts au sein de flacons pharmaceutiques en verre Borosilicate. Partant du constat, d'une part que les exigences en matière de contrôle qualité ne peuvent être atteintes avec les dispositifs actuels et d'autre part que le contrôle humain ne permet pas de maintenir une qualité stable à la cadence de production. L'étude des dernières avancées en

optique industrielle, en automatique et en traitement d'images, notamment sur les surfaces réfléchissantes, ont permis l'émergence d'un modèle de contrôle en ligne. La mise en place d'un système de vision et la comparaison entre différentes approches algorithmiques ont permis la réalisation d'une machine opérationnelle en production.

NOUVELLE ARRIVÉE

Guilherme Carneiro da Silva a rejoint l'équipe ASP pour stage post doctoral de 12 mois à partir de juin 2024 sur le sujet : « Piégeage sélectif par adsorption sur zéolithes de molécules d'isotopes de l'hydrogène » projet en collaboration avec le CEA de Valduc (troisième stage postdoctoral financé par le centre CEA de Valduc).

Résumé du projet : À partir de simulations quantiques, par DFT, et classique, Monte-Carlo et dynamique moléculaire, nous avons amélioré le modèle « classique » de ces molécules et le potentiel d'interaction entre molécules pour des applications à températures cryogéniques et à hautes pressions (plusieurs milliers de bar). Les équations d'état des systèmes purs ont pu être reproduites par simulation moléculaires pour l'hydrogène et le deutérium ce qui nous permet d'extrapoler à l'étude du tritium et de déterminer les propriétés thermodynamiques et dynamiques des mélanges. Ces résultats sont utilisés actuellement pour comprendre la thermodynamique de l'adsorption de ces molécules sur des zéolithes siliciques.

NANOSCIENCES

Directeur

Aymeric LERAY, Aymeric.Leray@u-bourgogne.fr

Directeur Adjoint

Lionel MAURIZI, Lionel.Maurizi@u-bourgogne.fr

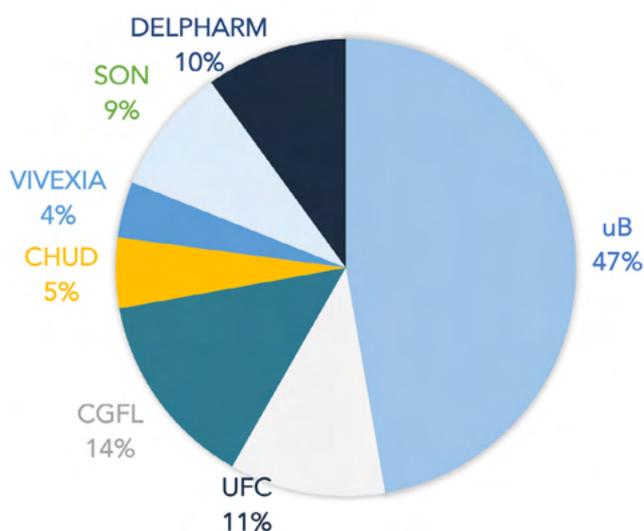
Le département Nanosciences vise à accéder et agir à l'échelle nanométrique afin de modéliser, cibler, détecter et comprendre les mécanismes sous-jacents à l'origine de la réponse macroscopique. Pour cela, il imagine et conçoit des nanomatériaux d'avant-garde capables de réagir à des stimuli externes variés (électriques, magnétiques, optiques, chimiques) et développe des nanocapteurs ainsi que des outils de nanocaractérisation d'une sensibilité exceptionnelle.

Ces percées technologiques sont cruciales pour relever des défis majeurs dans les domaines de la santé, de l'environnement et de l'agroalimentaire. Regroupant une vingtaine de chercheurs et enseignants-chercheurs, le département s'appuie sur des compétences en chimie, physique, biophysique, biochimie et science des matériaux, tout en cultivant des collaborations stratégiques avec des industriels, des instituts de recherche (CHU, INRAE, INSERM) et des partenaires académiques de premier plan en France (FEMTO-ST, ICMUB) et à l'international (USA, Japon, Europe).

FAITS MARQUANTS

PROJET FEDER : INNOVATIONS NANOVECTEURS THERANOSTIQUES (I-NANOT)

Plusieurs membres du département sont partis prenantes du projet i-NanoT qui a pour objectif de mettre en place les procédures méthodologiques pour synthétiser, développer et évaluer les fonctions biologiques des nanovecteurs théranostiques.



Ce projet implique 3 partenaires industriels (SON SAS, VIVEXIA et DELPHARM), 6 laboratoires de recherche (ICB, ICMUB, CTM, RIGHT, FEMTO-ST, LCE), 2 établissements de santé (CGFL, CHU-Dijon) et 2 partenaires supports (technopôle SANTENOV et SATT-SAYENS), tous localisés en région Bourgogne Franche-Comté. Les applications visées concernent l'oncologie, et le traitement des pathologies infectieuses et inflammatoires. Le programme est orienté pour structurer la filière nanomédecine en Bourgogne Franche-Comté.

PROJET EUROPEEN MULTILAB : DEVELOPPEMENT D'UN LAB-ON-CHIP INNOVANT



MULTILAB (Multi-modal, configurable optical lab-on-chip platform for low-cost multipurpose diagnostics & monitoring) est un projet européen associant 11 partenaires partout en Europe qui a débuté en 2024 pour 48 mois. Son but est de développer un prototype de puce photonique et microfluidique associant plusieurs types de capteurs (interférométrie plasmophotonique, spectroscopie photothermale et luminescence électrochimique) sur une même puce permettant la détection de plusieurs types d'entité biologique tels que virus, bactéries, ARN, etc. Cette nouvelle technologie sera développée et testée dans deux cas applicatifs précis, d'une part dans des cas cliniques d'infection partant d'une fièvre pour donner au médecin un diagnostic précoce (origine virale ou bactérienne) et pouvoir adapter rapidement le traitement. Et d'autre part un cas de type environnemental (problème de l'eutrophisation des eaux) pour la détection précoce d'algues proliférantes affectant la qualité de l'eau. Au sein de ce projet le rôle de l'ICB est de développer la partie microfluidique du lab-on-chip.

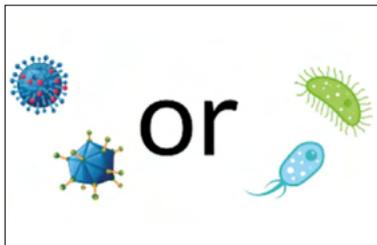


Illustration d'un virus à gauche ou bactéries à droite comme origine infectieuse.

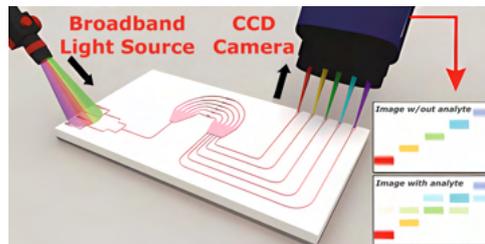


Illustration du concept de puce multi-capteurs Multilab.



Problème de la prolifération des algues.

PROTOTYPE DE CONTROLE NON DESTRUCTIF PAR VOIE MICRO-ONDE

En avant-première, le dispositif STELIO a été présenté au Salon MICRONORA Septembre 2024. Depuis 2015, ARDPI et le laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB UMR CNRS 6303) ont uni leurs forces pour créer NanoSense Lab à travers la création d'un laboratoire mixte public/privé et de l'ANR PRCE Omicron. Cette collaboration stratégique vise à exploiter pleinement les compétences complémentaires des deux entités pour développer des solutions innovantes de contrôle non destructif dans les composants industriels. Ce contrôle est crucial pour assurer la qualité, la durabilité et la sécurité de ces composants.

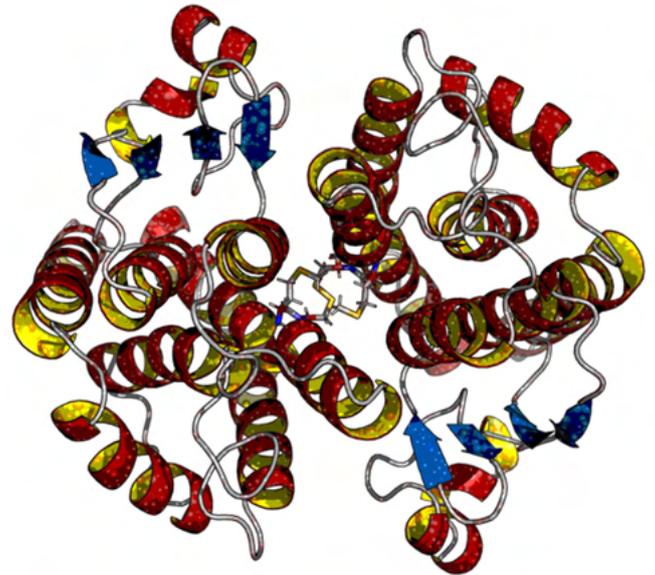
Cet appareillage basé sur la microscopie micro-ondes à sonde locale permet une inspection sans contact de la matière en surface et subsurface tout en offrant une résolution spatiale micrométrique et des seuils de détection adaptés au suivi d'évolution des champs de contraintes. Cet outil permet de déterminer directement lors de l'inspection les profils de contraintes résiduelles dans les matériaux et rend possible l'identification et la détection précoce d'endommagement au sein des matériaux et des structures liés par exemple à l'oxydation ou la corrosion.

En combinant l'expertise technique d'ARDPI en ingénierie et en instrumentation avec les avancées scientifiques de l'ICB dans les domaines de la nanotechnologie et de la science des matériaux, NanoSense Lab a pour objectif de répondre aux défis émergents de l'industrie.



CARACTERISATION STRUCTURALE DE L'INTERFACE DE DIMERISATION DES ENZYMES GST PAR BIOLOGIE DE SYNTHESE ET PAR BIO-INFORMATIQUE

Les Glutathione Transferases (GSTs) sont des enzymes homodimériques, multifonctionnelles et impliquées dans les processus de détoxification de l'ensemble des organismes vivants sur Terre incluant l'homme. En pratique, ces enzymes catalysent la biotransformation des composants toxiques en greffant une molécule de glutathion les rendant ainsi plus hydrophiles et donc plus facilement éliminables. Ces enzymes sont impliquées dans de nombreuses fonctions biologiques : de la métabolisation des médicaments à la perception des odeurs et des goûts. De plus, ces enzymes sont robustes, tolérantes vis-à-vis des mutations, et notre équipe a développé l'expertise pour leur bio-production, ce qui justifie leur exploitation en biotechnologie. En combinant l'utilisation d'AlphaFold, programme d'IA révolutionnaire dans le monde de la biologie qui prédit la structure 3-D des protéines à partir de leur séquence d'acides aminés (Prix Nobel de Chimie 2024), à la biologie de synthèse et la résolution de structure de protéines par DRX, nous avons caractérisé les interfaces de dimérisation du GSTome d'un organisme vivant (*Drosophila melanogaster*). Cela nous a permis de mettre en évidence des motifs d'acides aminés qui jouent un rôle clé dans la dimérisation et la stabilité des GSTs, ainsi que de la conservation de ces motifs d'acides aminés au cours de l'évolution. Ces travaux expérimentaux et théoriques sont une première étape clé pour le design in silico de GSTs synthétiques ayant de nouvelles propriétés catalytiques optimisées.



Structural and Thermodynamic Insights into Dimerization Interfaces of Drosophila Glutathione Transferases; M. Schwartz, N. Petiot, J. Chaloyard, V. Senty-Segault, F. Lirusi, P. Senet, A. Nicolai, J.-M. Heydel, F. Canon, S. Sonkaria, et al.; *Biomolecules* (2024)

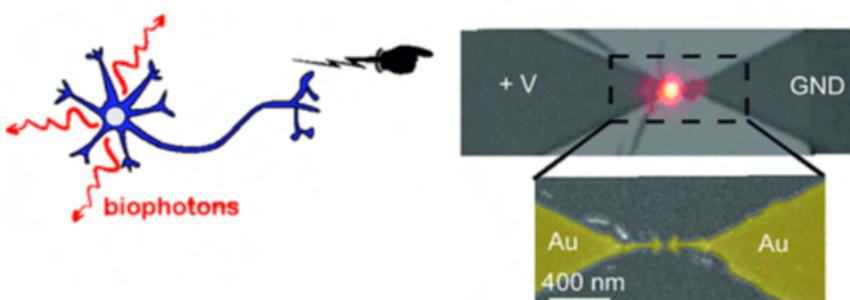
<https://doi.org/10.3390/biom14070758>

Structural Analysis of the Drosophila melanogaster GS-Tome; N. Petiot, M. Schwartz, P. Delarue, P. Senet, F. Neiers, A. Nicolai; *Biomolecules* (2024)

<https://doi.org/10.3390/biom14070759>

DES MEMRISTORS POUR IMITER LES BIOPHOTONS NEURONAUX

Des réseaux neuronaux à base de memristors reproduisent avec succès des fonctions neuronales complexes, telles que la plasticité synaptique. Outre les signaux électriques et chimiques, les neurones émettent des biophotons, soupçonnés de véhiculer des informations dans le cerveau. Les memristors imitent également cette activité lumineuse en émettant des photons avec des caractéristiques clés des biophotons : génération autonome, stochasticité, couverture spectrale et corrélation avec l'activité électrique. Une analyse révèle une émission lumineuse localisée à l'échelle nanométrique, activée sous une tension modérée (< 3 V). Ces résultats obtenus en collaboration avec le département Photonique ouvrent la voie à des dispositifs intégrant simultanément signaux électroniques et optiques pour traiter l'information.

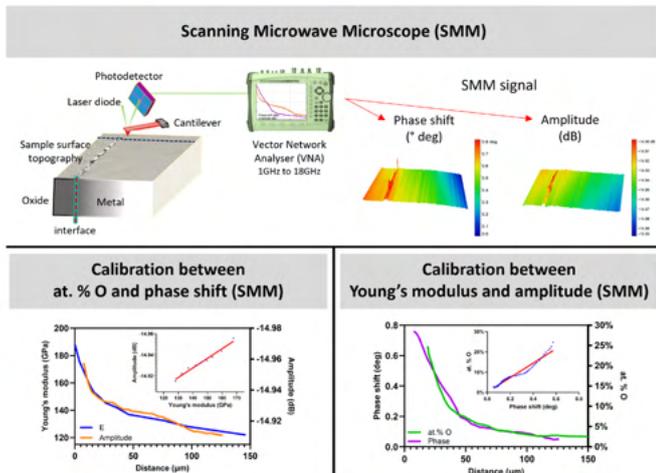


Self-Induced Light Emission in Solid-State Memristors Replicates Neuronal Biophotons; K. Malchow, T. Zellweger, B. Cheng, A. Leray, J. Leuthold, A. Bouhelier; *ACS Nano* (2024)

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsnano.4c02924>

CARACTÉRISATION MÉCANOCHIMIQUE À L'ÉCHELLE SUBMICRONIQUE DES MATÉRIAUX ENRICHIS EN OXYGÈNE

Les techniques conventionnelles qui mesurent la concentration d'éléments légers dans les matériaux métalliques manquent de performance à haute résolution en raison de leur limitation intrinsèque de sensibilité.

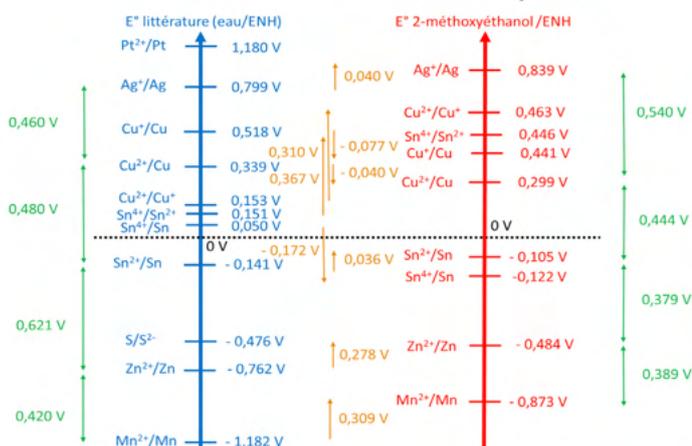


Dans ce contexte, la microscopie à micro-ondes à balayage a le potentiel d'améliorer de manière significative la quantification de la distribution des éléments grâce à sa capacité à effectuer une investigation tomographique de l'échantillon. Cette technique associe la mesure électromagnétique locale et la résolution à l'échelle nanométrique d'un microscope à force atomique. Elle permet la caractérisation simultanée de la concentration en oxygène et des propriétés mécaniques locales par déphasage des micro-ondes et signal d'amplitude, respectivement. La technique a été étalonnée par comparaison avec l'analyse de la réaction nucléaire et la mesure par nanoindentation. Nous avons démontré la fiabilité de la technique des micro-ondes à balayage en étudiant de fines couches enrichies en oxygène sur un alliage Ti-6Al-4V. Cette approche innovante ouvre de nouvelles possibilités pour la quantification indirecte de la diffusion d'éléments chimiques légers dans les matériaux métalliques. Cette technique est applicable au contrôle et à l'optimisation des processus.

Submicronic-scale mechanochemical characterization of oxygen-enriched materials; M. Garnier, E. Lesniewska, V. Optasanu, B. Guelorget, P. Berger, L. Lavisse, M. François, I. Custovic, N. Pocholle, E. Bourillot; *Nanomaterials* (2024) <https://www.mdpi.com/2079-4991/14/7/628>

ÉTUDE DE LA SUBSTITUTION CATIONIQUE DANS LA PHASE KESTERITE POUR DES CELLULES SOLAIRES ECO-COMPATIBLES ET À FAIBLE COUT

Cette étude est une étape importante pour la réalisation de cellules solaires à base de sulfures, économiques et non toxiques, à large gap (pour des applications nouvelles : cellules tandem, photovoltaïque Indoor) et par voie chimie en solution. Le dopage et/ou la substitution de cations dans la phase absorbeur (substitution partielle du Zn par du Mn dans la kesterite Cu_2ZnSnS_4 , dopage à l'argent Ag(I)...) permet d'ajuster et d'optimiser les propriétés électroniques et l'efficacité du système photovoltaïque (alignement des bandes à l'hétéro-interface absorbeur/ tampon, taille des grains...). La voie chimie en solution est particulièrement intéressante car elle permet d'orienter la formation des phases ioniques, d'ajuster la stœchiométrie, de maîtriser les degrés d'oxydation, la structure des phases... Nous avons réalisé les systèmes expérimentaux et déterminé les potentiels redox des couples présents dans nos solutions sulfures dans le solvant non aqueux utilisé.



Ces résultats mettent en évidence l'inversion des couples redox $Cu(II)/Cu(I)$, $Cu(II)/Cu(0)$, $Cu(I)/Cu(0)$, $Sn(IV)/Sn(II)$, $Sn(IV)/Sn(0)$ et $Sn(II)/Sn(0)$ dans le 2-méthoxyéthanol. Cela montre que $Cu(II)$ et $Sn(II)$ conduisent à $Cu(I)$ et $Sn(IV)$ et non pas à $Sn(IV)$ et $Cu(0)$. Cette inversion prouve que la réaction souhaitée pour former CZTS dopé ou non a lieu et qu'il est donc possible de synthétiser ACZTS (sans formation de $Ag(0)$).

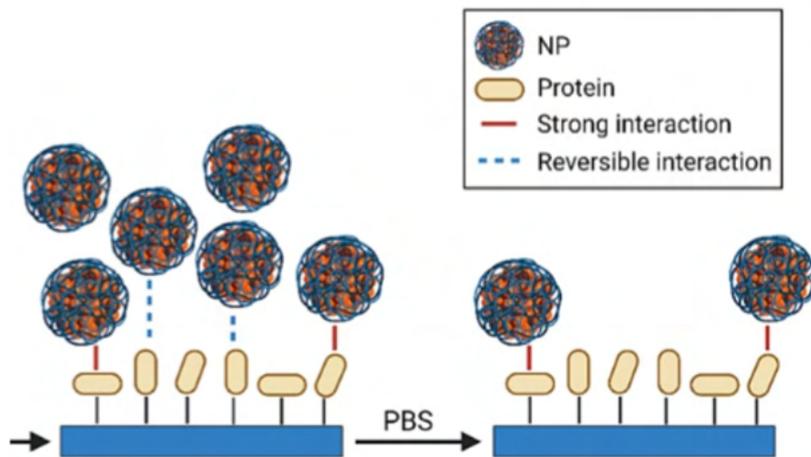
Potentiel redox comparés - Optimization of oxidation-reduction reactions for doping and cationic substitution of the kesterite phase; P. Joseph, D. Chaumont, C. Tamin, M. Tamin (en préparation)

ÉTUDE DE LA CORRELATION ENTRE LES INTERACTIONS PROTEINE-NANOPARTICULE ET LA FORMATION DE LA COURONNE PROTEIQUE : IN VITRO ET IN VIVO

Les nanoparticules (NPs) une fois en contact avec les fluides biologiques vont interagir, entre autres, avec les protéines leur conférant de nouvelles propriétés physicochimiques.

Cette étude explore les interactions entre deux protéines responsables du temps de circulation de nanoparticules de différentes charges (nulles, positives et négatives) : l'hémoglobine et la Fétuine A. Les interactions avec deux autres protéines parmi les plus abondantes ont également été quantifiées (Albumine et Transferrine).

Les résultats indiquent que 1) les interactions électrostatiques sont majoritaires dans la couronne protéique formée à la surface des NPs et 2) une affinité plus forte n'induit pas forcément un changement significatif de la conformation des protéines.



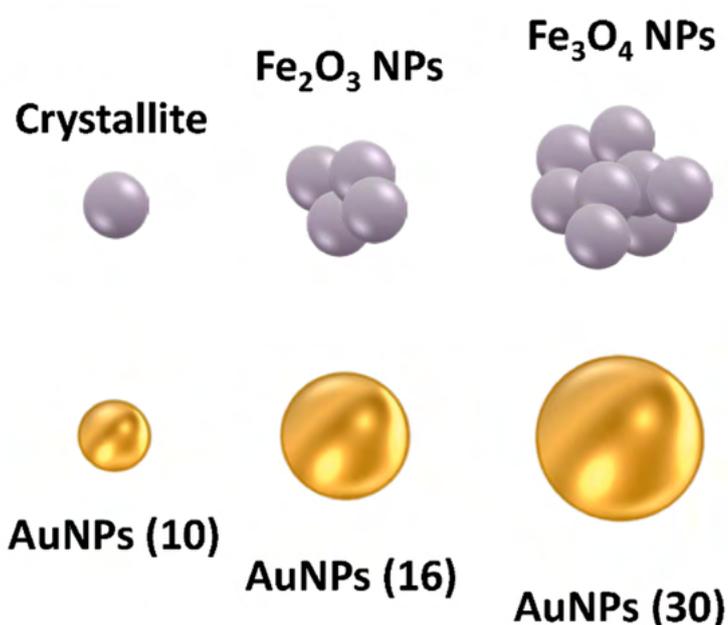
Le schéma QCM représente le capteur recouvert de protéines et son interaction avec les NP. Une fois que l'interaction protéine-NPs a atteint un équilibre, le capteur a été lavé avec du PBS. Les NP restant attachées au capteur ont été classées comme ayant établi une "interaction forte" avec la protéine, tandis que les NP éliminées par le tampon ont été classées comme ayant établi une "interaction réversible" avec les protéines.

Understanding protein-nanoparticle interactions leading to protein corona formation : In vitro - in vivo correlation study ; C. Marques, P. Maroni, L. Maurizi, O. Jordan, G. Borchard; International Journal of Biological Macromolecules (2024)

<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128339>

ÉVALUATION MULTIPLEX DES CAPACITES DE CIBLAGE DES BIOINTERFACES ET DE L'AFFINITE DES NANOPARTICULES SYNTHETISEES : UNE ETAPE VERS DES NANOPLATEFORMES AMELIOREES POUR LES APPLICATIONS BIOMEDICALES

Pour obtenir des nano-plateformes polyvalentes pouvant être utilisées en théranostique, des nanoparticules (NPs) d'or et d'oxyde de fer ont été synthétisées et fonctionnalisées. Cette étude, fruit d'une collaboration entre le Laboratoire ICB et FEMTO-ST, décrit le potentiel de ces NPs à réagir efficacement avec une monocouche de protéines en les greffant sur une puce recouverte de protéines, ces dernières étant caractérisées par AFM.



Représentation schématique des nanoparticules (NPs) synthétisées de différentes tailles. Les NPs d'or (AuNPs) imitant les tailles des NPs d'oxydes de fer (Fe_2O_3 et Fe_3O_4 NPs).

Multiplex Evaluation of Biointerface-Targeting Abilities and Affinity of Synthesized Nanoparticles-A Step Towards Improved Nanoplatforms for Biomedical Applications; M. Romain, C. Elie-Caille, D. Ben Elkadhi, O. Heintz, M. Herbst, L. Maurizi, W. Boireau, N Millot; Molecules (2024)

<https://doi.org/10.1039/molecules29225270>

NOUVEAUX PROJETS

- Europe Horizon: MultiLab Multi-modal, configurable optical lab-on-chip platform for low-cost multipurpose diagnostics & monitoring (2024-2027) ;
- ANR LabCom ATHENA: Analyse Tomographique d'Echantillons par Afm (2024-2029) ;
- ANR ModerniT : microsystèmes physiologiques instrumentés pour la caractérisation de nanopolluants dans les biofluides en flux et leur impact sur l'endothélium et l'hémostase (2024-2028) ;
- ANR CAMoMill: Computer Assisted Multimodal Microscopy for Quantifying Molecular Diffusion in Cells (2024-2028) ;
- EUR EIPHI LIPO-SENS: Lipopolysaccharides Sensors (2024-2026).

NOUVELLES ARRIVÉES

Jean-Marie Heydel et Fabrice Neiers, professeurs à l'UBE, sont rattachés à la circonscription Pharmacie de l'UFR des Sciences de Santé. Depuis le 04 décembre, ils font partis officiellement du département Nanosciences de l'ICB. En tant que biochimistes au sein de l'UFR des Sciences de la Santé, ils ont participé au développement d'outils de simulations numériques à l'échelle atomique visant à mieux comprendre le fonctionnement des protéines tout en répondant aux défis inhérents de la biologie de synthèse. Ces travaux offrent la possibilité de modéliser plusieurs aspects fondamentaux du fonctionnement protéique, puis de les valider expérimentalement. La complémentarité des expertises s'avère donc essentielle pour tester les approches théoriques et réduire les coûts expérimentaux grâce aux données générées par la modélisation.

Cette convergence permettra également d'approfondir leur thématique de recherche, centrée sur la compréhension des mécanismes moléculaires sous-jacents à la perception olfactive et gustative et ouvre la voie à un nouvel axe de recherche novateur qui vise à concevoir et construire expérimentalement des structures protéiques de novo, contribuant ainsi à la création d'outils pour relever les défis scientifiques et technologiques de ce siècle. Cet axe s'inscrit pleinement dans le domaine émergent de la biologie de synthèse, un secteur clé pour l'avenir de la biochimie et de la bioproduction.

NOUVEAUX DOCTORANTS

- Timothé Ferrasse : Caractérisation mécanique des interfaces traitées par laser pour une meilleure tenue en service des systèmes (dir. E. BOURILLOT et S. COSTIL), thèse uB;
- Sovannara Frédéric PRUM : Développement d'un lab-on-chip microfluidique pour une application de biocapteurs photoniques sur puce (dir. A. LERAY et L. MARKEY), projet Europe Horizon;
- Sajana SEMI : Étude par spectroscopie Raman de la structure et des interfaces de nanoplaquettes 2D de semiconducteurs (dir. L. SAVIOT et C. MARCO DE LUCAS), projet ANR DEXCTER.

PHOTONIQUE

Directeur

Frédéric SMEKTALA, Frederic.Smektala@u-bourgogne.fr

Directeur Adjoint

Edouard HERTZ, Edouard.Hertz@u-bourgogne.fr

Le département Photonique développe son expertise dans le domaine de l'interaction lumière-matière en régime propagatif. Cette expertise recouvre l'optique non-linéaire ultrarapide dans des milieux variés allant des solides aux milieux gazeux et aux plasmas, recourant à des configurations allant des fibres optiques à l'optique intégrée, en incluant la nano-photonique et la plasmonique. Les activités se déploient depuis des études théoriques jusqu'à la recherche expérimentale qui occupe une place importante, avec une attention particulière portée aux développements technologiques et applicatifs. Cette recherche expérimentale s'appuie sur les moyens techniques de l'Equipex SMARTLIGHT pour l'instrumentation optique et ARCEN-Carnot pour la fabrication et la caractérisation en nano-photonique. Le département dispose également de solides compétences théoriques et de modélisation numérique et s'approprie les concepts et les outils de l'intelligence artificielle. Au total, le Département Photonique compte une soixantaine d'enseignants-chercheurs, chercheurs, ingénieurs, techniciens, doctorants et post-doctorants.

Au sein des plateformes expérimentales, divers types de matériaux et de structures sont développés : fibres optiques spéciales composées de verres non-linéaires adaptés au moyen infrarouge (tellurites, chalcogénures) ; guides planaires non-linéaires et transparents (dioxyde de titane, nitrure de silicium, oxyde de tantale) ; pistes plasmoniques (or). Une activité importante du département concerne l'étude et le développement de nouvelles sources de lumière cohérente ou de forte brillance, compactes et efficaces : peignes de fréquences, lasers à fibre optique impulsionnels, conversion de fréquence, supercontinuum, synthèse optique, lasers Q-switch portables. Les activités s'orientent également vers les composants nano-photoniques pour les réseaux neuromorphiques optiques.

La recherche fondamentale couvre de nombreux aspects : l'alignement moléculaire et la filamentation laser, le contrôle de processus quantiques ; la compréhension de phénomènes non-linéaires complexes tels que la génération de supercontinuum, d'ondes scélérates, la dynamique ultrarapide en cavité laser, la condensation d'onde, explorant plus avant les notions de soliton optique et de soliton dissipatif.

Les visées applicatives sont stimulées par cette recherche fondamentale : réalisation de fonctions optiques pour les communications optiques à haut débit ou le traitement optique des données à l'échelle de la puce informatique, les applications spectroscopiques pour le domaine de la santé, l'environnement, le développement d'outils pour la métrologie d'impulsions ultra-courtes et la recherche de terrain en géologie et archéologie.

FAITS MARQUANTS

Équipe PFL (Processus Femtosecondes et Lasers intenses)

UN COUTEAU TEMPEL POUR MESURER DES FLASHS LUMINEUX ULTRACOURTS

Mesurer la forme temporelle de champs lasers femtosecondes (fs), dont le spectre s'étale de l'ultraviolet à l'infrarouge moyen, est un défi extrême dans le domaine de la métrologie optique. L'équipe PFL a récemment obtenu des résultats prometteurs en utilisant un couteau temporel à base d'air. La technique^{1,2}, nommée Plasma-induced Frequency-Resolved Optical Switching (Pi-FROSt), est basée sur la création d'une lentille « plasma » combinée à une technique de coronographie, permettant de reconstruire de manière extrêmement précise des impulsions ultrabrèves, au travers de la mesure de spectrogrammes (Fig.1).

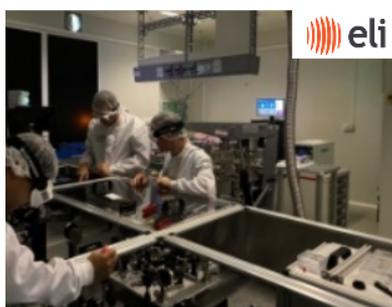


Fig. 2 : Laboratoire ELI-ALPS - Hongrie

Après une première démonstration convaincante pour des impulsions fs ultraviolettes, proche infrarouge et dans le moyen-infrarouge, l'équipe PFL s'est rendue en juillet dernier à Szeged en Hongrie au laboratoire ELI-ALPS afin de caractériser avec succès un champ laser s'étalant du visible (600 nm) jusqu'au moyen-infrarouge (3.2µm).

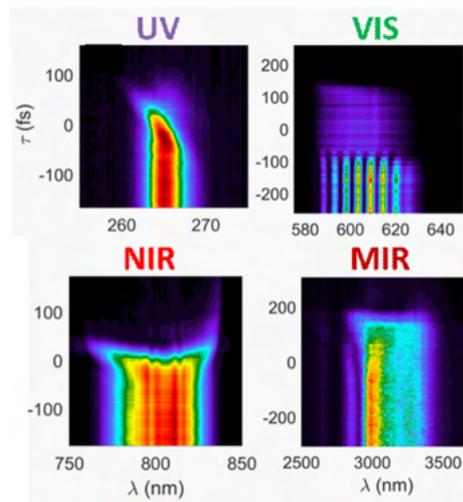


Fig. 1. Spectrogrammes obtenus par méthode Pi-FROSt

¹R. Bhalavi, et al, Opt. Lett 49 (5), 1321-1324 (2024)

²P. Béjot et al, Adv. Phot. Res. 2400074 (2024)

ALIGNEMENT MOLÉCULAIRE RÉSONANT

Bien que durant les trois dernières décennies, diverses méthodes de production de molécules alignées par laser aient été investiguées, l'influence des résonances est restée inexploree, à l'exception d'une étude théorique publiée en 1995¹. Cette année, l'équipe PFL a publié une étude théorique et expérimentale² sur l'alignement de la molécule d'iode par une impulsion laser fs résonante avec une transition électronique. Nous avons pu montrer que l'interaction résonante permet de préparer un état quantique du système conduisant à un alignement planaire³ persistant et robuste vis-à-vis de la température (Fig.3). Cet effet, très général, a de nombreuses implications pour divers systèmes moléculaires.

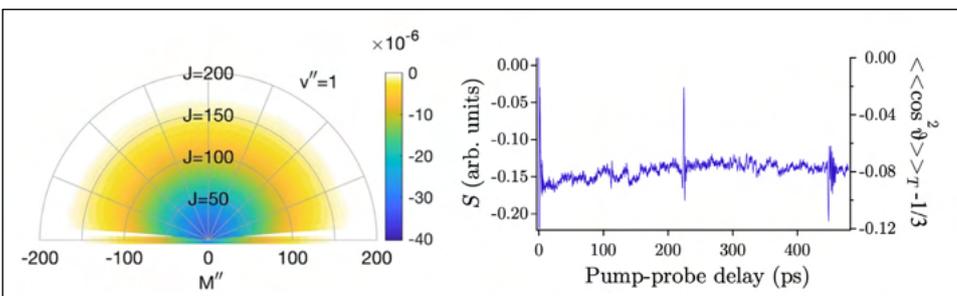


Fig. 3. : (gauche) Distribution non statistique des états quantiques $|v, J, M\rangle$ de I_2 induit par une impulsion fs; (droit) Alignement planaire (i.e., « $\cos^2\theta$ » $T < 1/3$) de I_2 mesuré par détection optique.

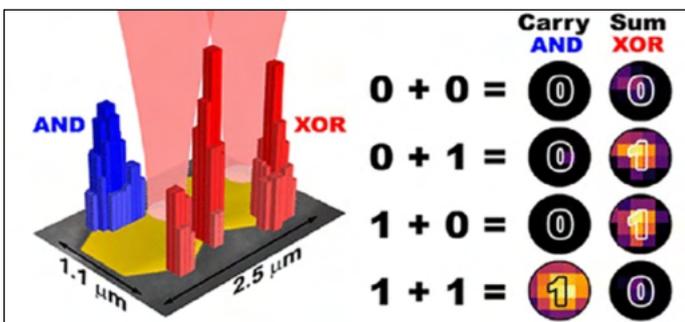
¹T. Seideman, J Chem. Phys. 103, 7887 (1995).

²M. Bournazel et al., Phys. Rev. Lett.133, 133201 (2024)

³M. Lapert et al., Phys. Rev. A 80, 051403(R) (2009)

PUCES OPTIQUES

La réalisation de puces optiques est un enjeu majeur pour conserver le transfert de données très-haut débit de la fibre optique qui arrive chez soi (FTTH – Fiber to the home) jusqu’aux microprocesseurs (ALU – unités arithmétiques et logiques) des ordinateurs ou smartphones qui traitent les données. Nous avons démontré expérimentalement un additionneur 2x1 bit à l’intérieur d’une cavité plasmonique de 2,6 μm² (Fig. 4).



Nous collaborons avec le CIAD pour développer un expert numérique de conception de nouveaux types d’ALU plasmoniques. Cet expert numérique repose sur des techniques d’IA hybrides associant réseaux neuromorphiques (pour optimiser les configurations) et approche symbolique (pour formaliser les lois physiques sous-jacentes).

Fig. 4 : Additionneur 2x1 bit

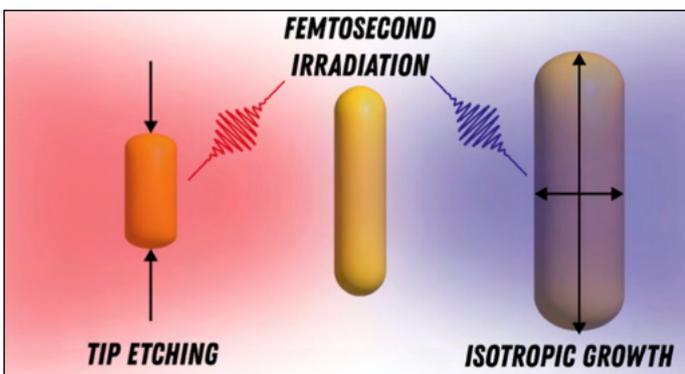
F. Dell’Ova et al., « Compact Implementation of a 1-Bit Adder by Coherent 2-Beam Excitation of a Single Plasmonic Cavity », ACS Phot. 11, 752 (2024).

O. Labbani Narsis,, E. Dujardin, C. Nicolle « Intelligence Artificielle modulaire et hybride orientée par les objectifs : application à la simulation d’un calculateur booléen plasmonique », PFIA24 1er - 5 juillet 2024, La Rochelle, France.

<https://hal.science/hal-04665978>.

DES IMPULSIONS LASER POUR CONTRÔLER LA CROISSANCE DE L’OR

Dans le cadre d’un projet pluridisciplinaire de la Graduate School EIPHI, une équipe projet de l’ICB, coordonnée par le département Photonique et impliquant des chercheurs des départements Nanosciences et Interfaces, a étudié comment utiliser des impulsions lasers ultracourtes pour catalyser la croissance et la dissolution de nanoparticules d’or (Fig. 5). Celles-ci sont utilisées dans des domaines très variés, tels que la thérapie photothermique contre le cancer ou la photocatalyse pour la production d’hydrogène et la récupération du dioxyde de carbone atmosphérique. Dans ces différentes applications, c’est la morphologie des nanoparticules qui leur confère leurs propriétés particulières et l’utilisation de faisceaux lasers permet d’accéder à une diversité de formes que la chimie seule ne permet pas. Dans ce contexte, les travaux d’Adem Dahi, doctorant recruté pour travailler sur ce projet, ont porté sur la compréhension des mécanismes physico-chimiques sous-jacents aux interactions entre des impulsions laser ultracourtes et des solutions colloïdales de nanoparticules d’or. Ces recherches ont bénéficié de la complémentarité des équipements scientifiques des plateformes SMARTLIGHT et ARCEN-Carnot et sont publiées dans l’article ci-dessous :



A. Dahi et al., « Gold Nanorod Growth and Etching Activated by Femtosecond Irradiation and Surface Plasmon Resonance », The Journal of Physical Chemistry C 2024 128 (7), 3074-308, <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.3c08272>

Fig. 5 : Illustration de la dissolution (à droite) et la croissance (à gauche) d’or solide lorsque les nanoparticules sont irradiées par des impulsions laser rouge ou bleues.

UN INTERFÉROMÈTRE POUR LES MESURER TOUS

Pour accompagner le développement de nouveaux matériaux pour la photonique programmable destinée à l'intelligence artificielle basée sur la lumière, une équipe de chercheurs a mis au point un instrument de mesure interférométrique capable de détecter les non-linéarités optiques de faible amplitude. L'analyse numérique de ces données permet ensuite de déterminer avec précision les différents indices non linéaires du matériau dans lequel la lumière s'est propagée. Après une première démonstration en laboratoire (Fig.6), un prototype d'instrument sur étagère a été construit à l'ICB dans le cadre d'un projet de maturation financé par la SATT SAYENS.

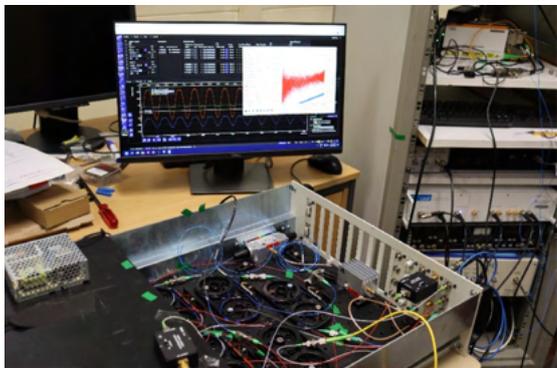


Fig. 6 : Photo du dispositif développé

Le système développé a été breveté cette année. Arnaud Rogemont, doctorant au laboratoire, bénéficie du dispositif régional Itinéraire Chercheurs Entrepreneurs (ICE) pour approfondir le développement de cette technologie et participer à la création d'une start-up qui la valorisera.

Brevet N° WO2024200954 : Caractérisation du comportement non-linéaire d'un guide d'onde, publié le 03/10/2024

Équipe SAFIR (Solitons, Lasers Fibres et Photonique Infrarouge)

WORKSHOP EN L'HONNEUR DU PROFESSEUR GOVIND AGRAWAL



Le workshop Nonlinear Fiber Optics organisé en l'honneur du Prof. Govind Agrawal, durant son séjour de 2 mois au sein de l'équipe SAFIR du Laboratoire ICB, s'est tenu le 8 octobre à Morrey St Denis (salle Dyonisos). Professeur à l'Institut d'Optique de Rochester (USA), Govind Agrawal est internationalement reconnu dans les domaines de l'optique non-linéaire et des fibres optiques (plus de 500 articles publiés), et célèbre pour ses différents ouvrages dans ce domaine, notamment : Nonlinear Fiber Optics et Fiber-optic communication systems, avec plus de 50 000 citations. Ceux-ci ont largement contribué à la formation de plusieurs générations de scientifiques durant les 35 dernières années.

Le programme du workshop, axé sur l'optique non-linéaire guidée et comprenant 5 cours/tutoriels d'une heure chacun, était principalement destiné à nos étudiants en Master (PPN et QUANTEEM) et en thèse, concernés par ces domaines scientifiques dans leur formation. Le contenu visait à développer leurs connaissances, à la fois sur des notions théoriques et expérimentales, avec une expertise de laboratoire. Cet événement, organisé sur un site extérieur leur a donné une occasion unique de rencontrer et échanger avec le Prof. G. Agrawal et d'autres chercheurs/professeurs du Laboratoire ICB, de l'Institut FEMTO-ST et de l'Université de Neuchâtel. Les présentations et discussions en anglais ont donné un aperçu des défis actuels de thématiques de recherche majeures, avec une vision aussi bien locale qu'internationale. Cette journée a regroupé 73 participants dont 48 étudiants (Fig. 7).



Fig. 7 : Workshop Nonlinear Fiber Optics

LASER À SOLITON À GESTION D'ÉNERGIE

Cet article revisite l'architecture des lasers à fibre optique conçus pour émettre des impulsions ultracourtes en exploitant une caractéristique paradoxale : de tels lasers peuvent afficher des performances largement supérieures en présence de pertes considérables. Nous développons ce principe à la génération de solitons optiques dissipatifs en régime de dispersion anormale. Ainsi, le recours aux impulsions étirées temporellement n'est plus indispensable pour produire des impulsions énergétiques par un oscillateur laser. Pour établir la preuve du concept, nous avons construit un laser à modes bloqués employant uniquement des fibres optiques standard à dispersion anormale autour de la longueur d'onde télécom de 1,5 μm . Nous obtenons ainsi des impulsions « solitons dissipatifs » dont l'énergie est supérieure de près de deux ordres de grandeur à celle des solitons standards, tout en conservant une bonne qualité des profils temporel et spectral, avec une faible dérive de fréquence. De plus, l'énergie de ces solitons dissipatifs augmente avec leur durée, contrairement à ce qui est obtenu avec les solitons conventionnels (Fig.8). Nous démontrons des avantages supplémentaires résultant de la conception de la cavité, en termes de flexibilité du taux de répétition et de la durée d'impulsion. Ces travaux, menés dans le cadre de la thèse de Mostafa Mohamed et encadrés par Philippe Grelu et Aurélien Coillet, font également l'objet d'une demande de brevet via la SATT SAYENS.

M. I. Mohamed, A. Coillet, and Ph. Grelu, "Energy-managed soliton fiber laser», Nature Communications, Vol. 15, article 8875 (2024).

<https://doi.org/10.1038/s41467-024-52954-7> (Open Access)

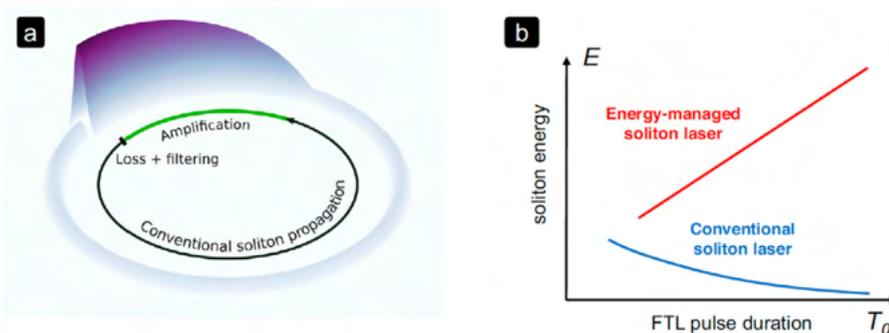


Fig.8 : (a) Illustration de la gestion de l'énergie à l'intérieur de la cavité laser. Les fortes pertes permettent à la fois d'extraire la majeure partie de l'énergie à chaque tour de cavité, et de remettre en forme l'impulsion qui poursuit sa propagation à faible puissance en l'absence de distorsions ; (b) L'énergie des solitons dissipatifs ainsi produits augmente en fonction de leur largeur temporelle, ce qui les rend particulièrement attractifs pour une durée de l'ordre de la

CONTRATS EN COURS ET NOUVEAUX CONTRATS

- I-SITE 4D Meta / Impression 4D et matériaux artificiels / Coord. local Alexandre Bouhelier / 2021-2024 / 248 k€.
- ANR NAC-NIP / Coord. local Pierre COLMAN / 2021-2025 / 262 k€.
- EUR-EIPHI HELIX / laser HELIcoïdaux et applications / Coord. principal Pierre Béjot / 2021-2024 / 315 k€.
- ANR DALHAI (mobilité)/ Design of plasmonic ALU by Hybrid Artificial Intelligence / Coord. principal Erik Dujardin / 2021-2025 / 252 k€.
- ANR DALHAI (ICB)/ Design of plasmonic ALU by Hybrid Artificial Intelligence / Coord. local Alexandre Bouhelier / 2021-2025 / 218 k€.
- CNRS / Wall-IN / Coord. Principal Julien Fatome / 2021-2026 / 15 k€/an.
- ANR OPTIMAL / Optimized on-demand ultrafast and broadband light sources using machine learning / Coord. local Christophe Finot / 2021-2025 / 130 k€.
- UBFC ANER PICCOLO / Laboratoire de Physico-Chimie Colloïdale évolutionniste / Coord. Erik Dujardin / 2022-2024 / 99 k€.
- ANR ELECTRODE / Supercontinuum reconfigurable intégré sur puce / Coord. principal Kamal Hammani / 2022-2025 / 253 k€.

- ANR – DFG ELECTROCOMB / Spectroscopie électro-optique à double peignes pour des applications dans le moyen infrarouge / Coord. Guy Millot / 2022-2025 / 227 k€.
- ANR ProteOrigami / Programmable, self-assembling functional origami from designed proteins / Coord. local Erik Dujardin / 2022-2025 / 162 k€.
- European Innovation Council (EIC Transition) / M-Engine / Coord. Erwan Lucas / 2023 - 2026 / 350 k€.
- EUR-EIPHI INHELA / Intégration de Nano-antennes Hélicoïdales sur des sources de Lumière Atomiques/ Coord. local Alexandre Bouhelier / 2023-2026 / 277 k€.
- Contrat de recherche avec la société Femto Easy / Post-compression d'impulsions laser ultra-brèves et caractérisation temporelle / - Coord. principal Edouard Hertz / 2024-2027 / 175 k€.
- ANR WANOO / Turbulence d'ondes et caustiques aléatoires non linéaires dans les systèmes optiques désordonnés / Coord. Principal A. Picozzi / 2024-2027 / 190 k€.
- CEFIPRA (Franco-Indien) / Two-micron ultrafast lasers for biomedical applications / Coord. France : Philippe Grelu / 2024-2027 / 100 k€.
- ANR JCJC / SMARTKOMBS / Coord. Erwan Lucas / 2024-2028 / 244 k€.
- ANR OSMOSIS / Mixed octave cavity solitons from multimode fibers / Coord. principal : Philippe Grelu / 2024-2028 / 204 k€.
- ANR 3D-MOC / Fabrication 3D Avancée de composants optiques intégrés multimatériaux / Coord. principal Frédéric Smektala / 2024-2027 / 223 k€.
- ANR JCJC EVOFIBIR / EVOLutive Multi-material FIBERed InfRared components / Coord. principal Clément Strutynski / 2024-2028 / 25 4k€.
- EUR-EIPHI FIBOT 4D / Fibres roBotiques 4D pour endoscopes et implants biologiques fonctionnels / Coord. principal Clément Strutynski / 2024-2028 / 201 k€.
- ANR FIBERSPEC / Bio-détection spectroscopique infrarouge basée sur des fibres optiques multifonctionnelles / Coord. local Frédéric Smektala / 2025-2028 / 158 k€.
- ANR RAISES / Remote Advanced Infrared optical fibers SENSORS based on Soft glasses / Coord. Principal Frédéric Désévéday / 2025-2028 / 252 k€
- CNRS FEI Tremplin FICHIRP / Fiber based on CHalcogenide and tellurite glasses for IR chemical sensing Plasmonic enhancement / Coord. principal Frédéric Désévéday / 2024 / 21 k€
- ANR RISOTO / The Bright Side of the Noise/ Coord. local Alexandre Bouhelier / 2025-2029 / 248 k€
- PHC MAIMONIDE / Ultrafast ultrabroadband integrated non-equilibrium electron-induced nanoscale light source based on voltage-gated ENZ materials/ Coord. local Alexandre Bouhelier / 2025-2027/ 45 k€
- FEDER I-NANOT / Innovation pour les nanovecteurs théranostiques / Coord. principal Alexandre Bouhelier / 2025-2028 / 5.8 M€.

NOUVEAUX ENTRANTS 2024

PERMANENT

- Florian DELL'OVA, IR CNRS, Smartlight.

DOCTORANTS

- Anjana KALHARA;
- Abeyrathna SIRIWARDHANA;
- Lucille ASCENCI;
- Tarek ELDAHAWARY;
- Mathis METAIS;
- Charles POURNY.

POST-DOCTORANTS

- Théo TORRES;
- Maciej CWIERZONA;
- Caroline BYUN.

PMDM

PROCÉDÉS MÉTALLURGIQUES, DURABILITÉ, MATÉRIAUX

Directeur

Gilles CABOCHE, Gilles.Caboche@u-bourgogne.fr

Directeur Adjoint

Jean-Marie JOUVARD, Jean-Marie.Jouvard@u-bourgogne.fr

L'objectif du département « Procédés Métallurgiques, Durabilité, Matériaux » (PMDM) est de comprendre les mécanismes impliqués dans les différents procédés métallurgiques mis en œuvre. Ainsi, le contrôle des étapes déterminantes conduira à une maîtrise des microstructures et des propriétés des matériaux. Au sein de leur environnement d'utilisation, de nouvelles performances sont attendues en termes de caractéristiques physico-chimiques, de résistance mécanique et tenue à la corrosion, de mise en forme et assemblage, de rapidité et d'économie d'exécution.

FAITS MARQUANTS

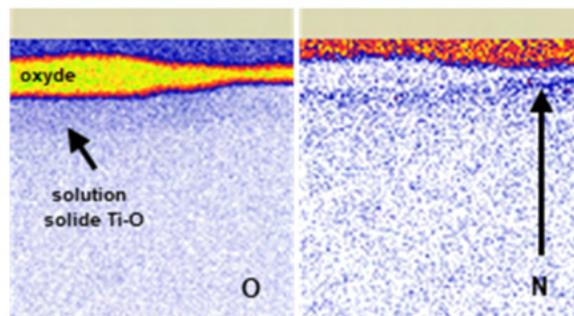
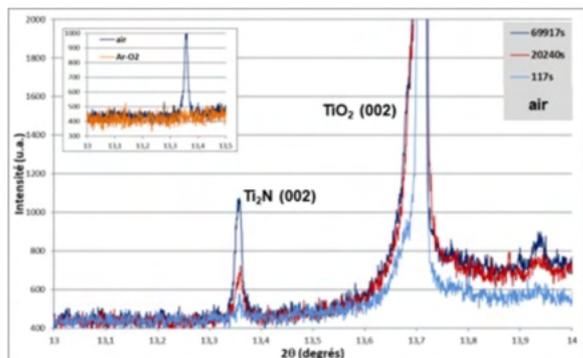
UTILISATION DES GRANDS INSTRUMENTS DANS L'ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES DE CORROSION À HAUTE TEMPERATURE

L'utilisation des matériaux métalliques à haute température dans différents secteurs industriels, tels que le transport ou la production d'énergie, nécessite l'étude préalable de leur réactivité dans les conditions d'exposition. Un ensemble de techniques de caractérisation de laboratoire (structurales, microstructurales, spectroscopiques) est mis en œuvre afin de déterminer la nature des produits de corrosion en lien avec leurs cinétiques de croissance et les mécanismes réactionnels impliqués, dans l'objectif d'estimer la durée de vie d'un matériau dans une atmosphère et à une température donnée. Cependant, dans de nombreux cas, la résolution insuffisante et/ou la limite de détection des appareils de laboratoire ne permette pas l'étude complète des premiers instants d'oxydation, des étapes élémentaires à court ou long terme ou l'identification de certains produits de corrosion. L'utilisation des grands instruments s'avère nécessaire dans ces cas et représente un apport très important dans la compréhension des phénomènes d'oxydation à haute température.

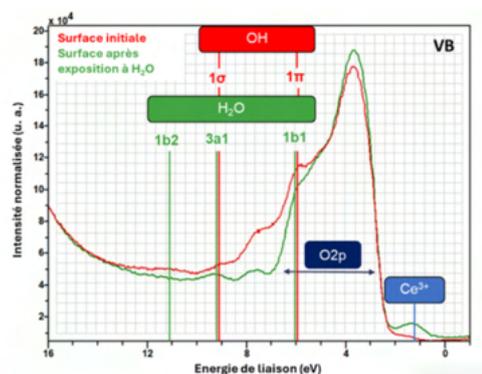
Étude au rayonnement synchrotron (ESRF Grenoble) et par microsonde nucléaire (CEA Saclay – CNRS, NIMBE) de l'impact positif de l'azote sur l'oxydation du Ti et de ses alliages

Participants : Ioana Popa, Luc Lavis, Virgil Optasanu, Tony Montesin, Victor Pacorel, ICB-PMDM

La résistance envers l'oxydation à haute température des alliages de Ti semble être augmentée par l'azote présent dans l'atmosphère, qui s'accumulerait à l'interface métal/oxyde. Cependant, les mécanismes responsables de l'impact positif de l'azote ne sont pas encore complètement compris, notamment à cause de l'impossibilité d'identifier à l'aide des techniques de laboratoire les phases cristallines le contenant. C'était l'objectif d'une expérience de diffraction haute résolution réalisée in-situ au rayonnement synchrotron, sur la ligne de lumière ID22 de l'ESRF Grenoble. Des échantillons de Ti pur et d'alliages de Ti ont été exposés à haute température sous air et sous une atmosphère ne contenant pas d'azote (Ar-20%O₂) afin d'identifier précisément les phases contenant de l'azote et d'identifier le moment de leur apparition par rapport aux phases contenant de l'oxygène. Cette expérience a permis de montrer, pour la première fois à notre connaissance, la formation de la phase Ti₂N tétragonale dès les premières minutes d'exposition à haute température sous air et en parallèle à la formation de TiO₂. En parallèle, la localisation et la quantification de la quantité d'azote inséré ont été effectuées à l'aide d'analyses par faisceau d'ions à la microsonde nucléaire (CEA Saclay – CNRS, NIMBE, collaboration P. Berger). Ces analyses ont montré l'accumulation de l'azote en dessous de la couche d'oxyde, dans des quantités en parfait accord avec la composition de la phase Ti₂N identifiée par diffraction synchrotron.



UTILISATION DE LA LABSTATION AU JOINT RESEARCH CENTRE KARLSRUHE POUR L'ÉTUDE DES PREMIERS INSTANTS ET L'IDENTIFICATION DES ÉTAPES ÉLÉMENTAIRES D'OXYDATION DU CE



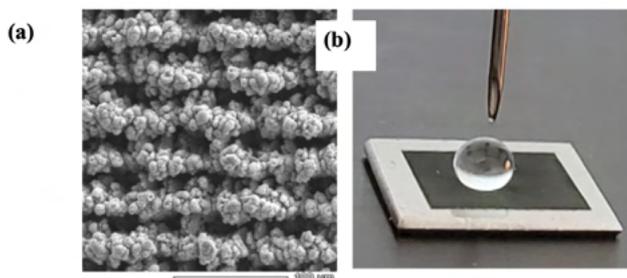
Participants : Ioana Popa, Clémence Thomas, ICB-PMDM

En collaboration avec le CEA Valduc (B. Ravat, L. Joly), l'impact de la présence d'humidité sur l'oxydation du Ce est étudiée dans le cadre de la thèse de C. Thomas. En vue de la caractérisation des premiers instants de réaction sous différentes atmosphères, la grande réactivité de ce métal du groupe des terres rares impose de réaliser la préparation des surfaces in-situ. Ces investigations spécifiques peuvent être réalisées à l'aide d'un dispositif unique au monde, la LabStation du JRC Karlsruhe. Le projet de collaboration CeSAR (CEA – ICB – JRC) a permis d'étudier la réactivité d'oxydes de Ce (Ce_2O_3 , CeO_2) en présence des différentes espèces présentes

dans une atmosphère d'air humide : O_2 , H_2O et H_2 . Les études par UPS et XPS ont notamment montré la chimisorption des molécules de H_2O à la surface de CeO_2 et leur dissociation conduisant à une hydroxylation de la surface. Les défauts de type lacunes d'oxygène ont été identifiés à jouer un rôle prépondérant dans le mécanisme d'oxydation du Ce.

Une peau neuve pour les surfaces de titane traitées par laser

Une nouvelle approche à la fonctionnalisation des surfaces métalliques a émergé dans le cadre de collaboration de longue date entre le département PMDM dijonnais (L. Lavis, N. Zaitseva, V. Optasanu), Chalonnais (J.-M. Jouvard) et Creusotin (I. Tomashchuk) et le département Interfaces (M. C. Marco de Lucas). L'approche dite « duplex » combine le traitement par laser nanoseconde avec la modification chimique, ouvrant de nouvelles applications autour du contrôle de la mouillabilité de surfaces, le comportement superhydrophobe, antigivrant et autonettoyant. Avec le titane comme matériau-modèle, la formation des couches d'oxydes de la rugosité contrôlée sous action du laser nanoseconde a fait l'objet de nombreuses études de Dr. L. Lavis et Pr. J.-M. Jouvard. L'étude du greffage covalent de molécules organiques à la surface traitée laser a commencé il y a quelques années dans le cadre de collaboration avec Dr. L. Kostenko (Université Nationale Taras Chevtchenko de Kiev, Ukraine, mobilité dans le cadre de la BQR 2019 de l'ICB) et a été poursuivie par Dr N. Zaitseva (post-doc dans le projet EUR EIPHI TrHyPAHTe). Deux réactions chimiques sont utilisées pour le greffage covalent de nouvelles fonctions : la phosphonation et la silanisation. Si la première produit exclusivement une monocouche organique, la deuxième crée les films organiques épais dites polycondensés. L'introduction de la fonction alkyle via ses réactions a permis d'atteindre la superhydrophobicité de substrats en titane traités laser, qui démontrent alors l'état de Cassie-Baxter, déterminé par la synergie entre la rugosité et la nature chimique de la surface.

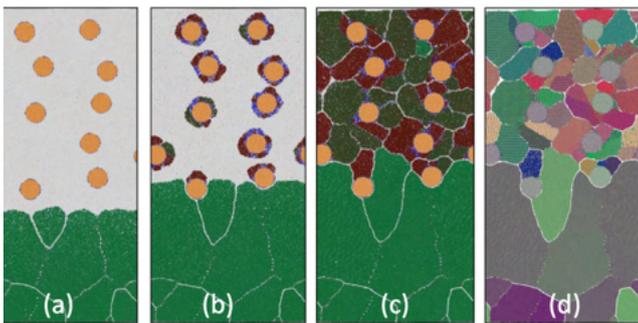


Topographie de la surface du titane traitée par laser nanoseconde (a) ; comportement superhydrophobe de la surface un second traitement chimique par acide octylphosphonique (b). Tomashchuk et al., *Appl. Surf. Sci.* 609 (2023) 155390, Zaitseva et al., *Adv. Eng. Mater.* 26 (2024) 2401046

APPLICATION DE LA DYNAMIQUE MOLÉCULAIRE À L'ÉTUDE DES PROCESSUS ÉLÉMENTAIRES EN FABRICATION ADDITIVE

La fabrication additive par laser à partir de poudres métalliques génère des gradients de température extrêmes au niveau de l'interface solide-liquide, favorisant une solidification directionnelle et la formation de grains colonnaires. Cette microstructure peut générer des fissures, ainsi qu'un comportement anisotrope et détériorer les propriétés mécaniques. Pour favoriser la transition colonnaire-équiaxe, on peut injecter dans le bain de fusion des nanoparticules réfractaires. Ces nanoparticules agissent comme sites de nucléation ou restent dispersées dans la matrice métallique. Dans cette étude, nous avons développé des simulations de dynamique moléculaire pour rendre compte des comportements à l'échelle atomique lors de la solidification directionnelle d'un système modèle de cuivre contenant des nanoparticules de tungstène. En fabrication additive, le cuivre est sujet à la formation de grains colonnaires. Par contre l'utilisation de nanoparticules réfractaires permet d'améliorer sa résistance mécanique, sa stabilité thermique et sa résistance au fluage. Les simulations nous ont permis d'étudier l'effet des gradients de température et des vitesses de refroidissement sur l'interaction entre le front de solidification et les nanoparticules. Les résultats fournissent des informations clés sur la transition colonnaire-équiaxe et les mécanismes de nucléation hétérogène, tout en comblant un manque de données expérimentales à l'échelle nanométrique. Ces travaux contribuent à mieux comprendre les paramètres qui influencent la microstructure et les performances des pièces en cuivre fabriquées par impression 3D. (<https://hal.science/hal-04610744v1>)

Solidification directionnelle du cuivre en présence d'une dispersion de nanoparticules de tungstène : une (Q. Bizot, O. Politano, F. Baras, V. Turlo, en collaboration avec l'EMPA, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology.)

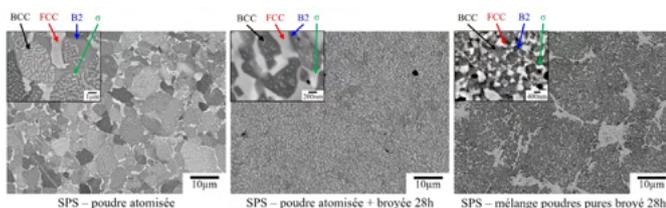


Visualisation de la solidification du bain de fusion en présence de nanoparticules (NPs) de rayon 6,36 nm pour un taux de refroidissement $\alpha = 215$ K/ns à différents temps : $t = 0,2$ ns (a), $t = 1$ ns (b), et $t = 1,5$ ns (c). Code couleur : vert = fcc, gris = liquide ou amorphe, orange = bcc et rouge = hcp. (d) Vue du système à $t = 1,5$ ns après analyse avec la méthode Polyhedral Template Matching (PTM) qui permet d'identifier la structure atomique, et l'orientation locale des grains équiaxes.

FABRICATION DE MATERIAUX NOUVEAUX : ALLIAGE A HAUTE ENTROPIE

Les alliages à haute entropie (HEA) se composent de minimum 5 éléments majoritaires et sont en fort développement depuis 2004. Les travaux s'appuient sur le procédé SPS (Spark Plasma Sintering) qui est un procédé intéressant pour contrôler la microstructure. L'objectif a été d'étudier l'influence de la nature des poudres (atomisées, broyées, ...) sur la formation des phases et des microstructures lors du frittage. Deux compositions HEA $\text{Al}_x\text{CoCrFeNi}$ ($x=0,3$ et 1) ont permis d'évaluer l'influence de l'aluminium à chaque étape du procédé d'élaboration. Une attention particulière a été portée sur les transformations de phases et microstructures aux interfaces entre les particules de poudre (PPBs). L'impact des différentes microstructures sur les propriétés mécaniques a ensuite été examiné. Enfin, dans une optique d'industrialisation, la soudabilité de ces alliages, trop peu étudiée à l'heure actuelle, a été estimée. L'étude s'est concentrée sur la détermination des paramètres de soudage laser optimaux, ainsi que sur l'influence de la teneur en oxygène dans le métal de base sur la soudabilité. Le but a également été d'étudier l'évolution de la microstructure après solidification rapide de la zone fondue.

Thèse de Adrien SAVIOT (2021-2024) dans le cadre du Projet EIPHI COCASSE
(Directeurs de thèse : P. Sallamand (LTm) & S. Le Gallet (MANAPI))

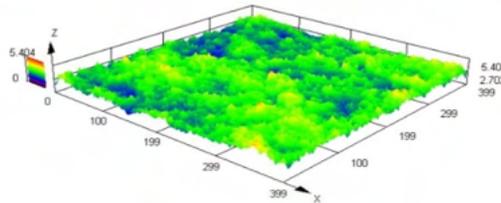
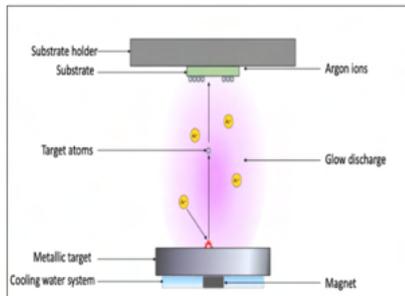


(Microstructure en fonction du procédé d'élaboration : Le broyage d'un mélange de poudres pures initie la formation d'une solution solide FCC alors que l'atomisation gazeuse conduit à une poudre monophasée B2)

MATÉRIAUX CERAMIQUES A CONDUCTION PROTONIQUE POUR L'ENERGIE HYDROGÈNE

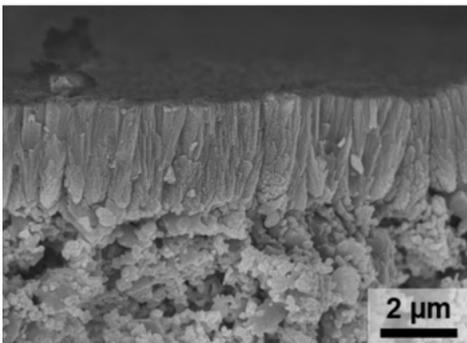
Dans le cadre du projet PATH – ISITE BFC, la thèse de Victoire LESCURE (soutenance prévue en 2025) a conduit à l'élaboration de dépôts PVD (Physical Vapor Deposition) d'électrolyte céramiques à conduction protonique. Le matériau oxyde $\text{BaZr}_{0,8}\text{Y}_{0,2}\text{O}_{3-d}$ diffuse l'hydrogène pour les systèmes piles et électrolyseurs. Le procédé PVD permet l'obtention de films minces (2-3 microns) bien cristallisés, denses et de rugosité (état de surface) contrôlée.

Reactive Magnetron Sputtering for Y-Doped Barium Zirconate Electrolyte Deposition in a Complete Protonic Ceramic Fuel Cell LESCURE Victoire et Al. *Crystals* 2024, 14(5), 475; <https://doi.org/10.3390/cryst14050475>



Dispositif de dépôt PVD (Physical Vapor Deposition)
Les différentes cibles permettent l'élaboration d'oxydes mixtes constitués de plusieurs cations métalliques.

Microscopie 3D de la surface du substrat avant dépôt PVD.
La rugosité moyenne est de 2,7 microns.

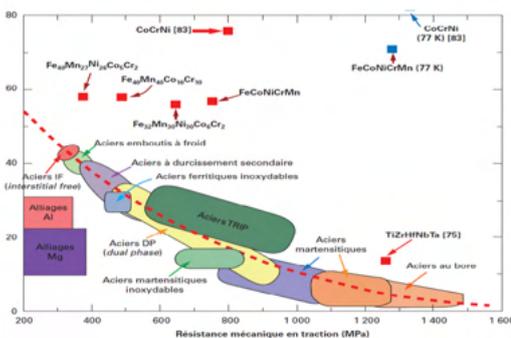


Les cellules à base de matériaux à conduction protonique réalisées par dépôt PVD, en collaboration avec FEMTO-ST présentent une épaisseur, une microstructure et une densification contrôlées permettant d'améliorer fortement les performances des systèmes fonctionnant sous hydrogène.

Cliché SEM, dépôt de $\text{BaZr}_{0,8}\text{Y}_{0,2}\text{O}_3$

PROJET ANR ASTRID : ESTOCADE - PÉNÉTRATEUR EN ALLIAGES À HAUTE ENTROPIE RÉFRACTAIRES ET DUCTILES F. BERNARD (ICB), H. COUQUE (KNDS) ET M. ARIANE (SINTERMAT)

Le projet ESTOCADE consiste à développer une nouvelle génération de matériaux réfractaires pour perforant cinétique d'Obus FLèche 120 mm du char Leclerc, c'est-à-dire des alliages à haute entropie composite ou non de masse volumique de 17 g/cm³ ductile. L'objectif est de surpasser les performances des alliages conventionnels de tungstène et de tendre vers celles de l'uranium appauvri.



Défi 1 : Optimisation du matériau – Leader ICB

Défi 2 : Recherche de la performance en pénétration – Leader KNDS

Défi 3 : Maîtrise du changement d'échelle et mise en production – Leader SINTERMAT

Il s'agit de produire des alliages de type WTaMoNbX avec X (X=Cr, Zr, V, Hf ou Re) à partir d'un mélange des poudres métalliques pures ou de poudres alliées commercialisées pour créer un alliage à haute entropie à cinq éléments en vue de rendre cette nuance ductile en traction. THERMOCALC sera utilisé comme aide à la sélection. Des éléments d'addition pourront être envisagés pour améliorer la densification et/ou pour piéger les oxydes présents. Des modélisations d'essais mécaniques et de pénétration via le logiciel ABSTRAO seront réalisées en parallèle d'essais mécaniques visant à étudier la sensibilité des nouvelles nuances à la formation de bandes de cisaillement adiabatique.

PROJET INTERREG (FR-CH) ELECTRIVERT : VALORISER L'ÉNERGIE DE LA BIOMASSE ET PROMOUVOIR SA CONVERSION EN ÉLECTRICITÉ PAR DES SYSTÈMES DE PILE À COMBUSTIBLE SOFC

Le projet ELECTRIVERT a pour objectif global de valoriser localement l'énergie apportée par la biomasse, en particulier le biogaz, en promouvant sa conversion en électricité grâce à des systèmes de pile à combustible SOFC innovants. Le premier objectif sera d'établir un état des lieux de la production, la valorisation et la distribution de biogaz sur le territoire de coopération et d'y développer cette filière auprès des producteurs de déchets organiques agricoles. Le second objectif du projet est d'optimiser les technologies de fabrication des piles à combustible à oxyde solide (SOFC) permettant de convertir le biogaz issu de déchets organiques en électricité et en chaleur. Il s'agira d'élaborer des cellules élémentaires de dimensions variables permettant d'aboutir à la fabrication de stacks prototype de 50 W fonctionnant sous biogaz.

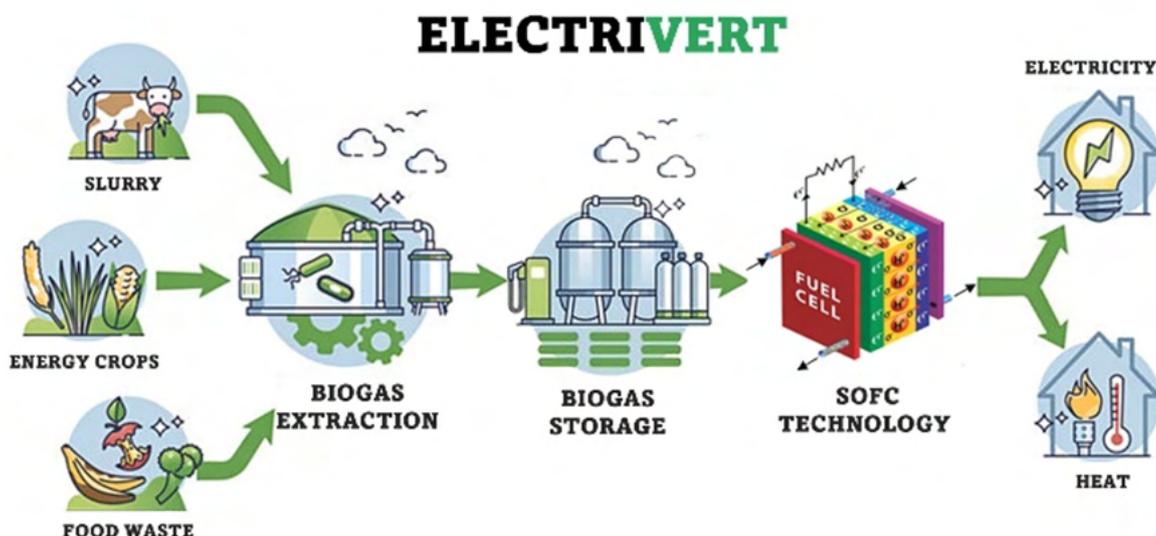
Résultats attendus :

L'objectif final de ce projet est de sensibiliser les acteurs de ces filières, tout en encourageant la création de nouveaux producteurs de biogaz et en multipliant l'installation de piles à combustible dans les habitations et les exploitations agricoles, ce qui permettra de convertir la biomasse en électricité propre et en chaleur utilisée localement, contribuant ainsi de manière significative à la transition vers une énergie plus durable. La sensibilisation devrait stimuler l'engagement des acteurs privés et publics dans la mise en œuvre de projets alignés sur les stratégies de développement des énergies renouvelables. Par ailleurs, l'optimisation des technologies des piles SOFC et leur adaptation au biogaz comme combustible, contribue à l'innovation et à la compétitivité des entreprises œuvrant dans le secteur de l'énergie renouvelable. Le projet devrait d'ailleurs catalyser l'investissement de ces entreprises et faciliter l'industrialisation de solutions technologiques qu'elles auront développées.

G. CABOCHE (UB) Coordinateur France - H. SALLEM (HEVS) Coordinatrice Suisse;

Partenaires : ICB (G. Caboche, L. Combemale), FEMTO-ST (P. Briois), Synops-Conseil (A. Vaussanvin), HEIVS (H. Sallem, H. Middleton), HEIG-VD (S. Schintke), CELECTIS (J. Steve), FIAXELL (R. Ihringer).

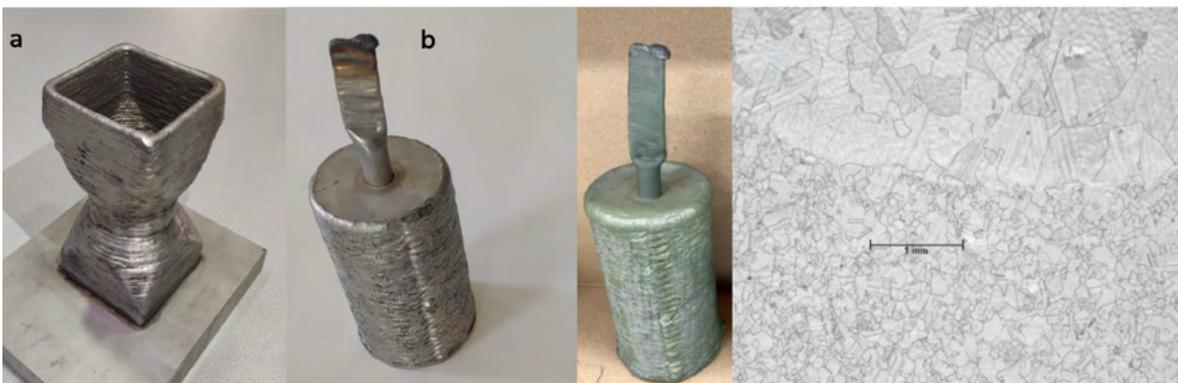
<https://www.interreg-francesuisse.eu/beneficiaire/electrivert/>



UTILISATION DE LA TECHNOLOGIE WAAM POUR LA FABRICATION DE CONTENEURS DESTINÉS À LA COMPRESSION ISOSTATIQUE À CHAUD (CIC) DE POUDRE MÉTALLIQUE

Le procédé de CIC (Compaction Isostatique à Chaud) nécessite la fabrication préalable d'un conteneur (ou capsule) dans laquelle la poudre à fritter est placée avant CIC (frittage sous haute pression et haute température, i.e. jusqu'à 2000 bars et 1400°C). C'est via ce conteneur (nécessairement étanche) que les efforts de compression isostatique sont appliqués à la poudre contenue. Jusqu'à présent, ces capsules étaient fabriquées par mécanosoudage. Toutefois, dans le cas de pièces de formes complexes, le coût et le temps d'une fabrication par mécanosoudage peuvent s'avérer particulièrement élevés, ce qui constitue un handicap pour la technologie. Récemment, nous avons montré que la technologie WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing) est particulièrement adaptée à la fabrication rapide de capsules de formes complexes, potentiellement de grandes dimensions (projet EUR EIPHI COBAFIL) : Le principe est de fondre un fil métallique à l'aide d'un procédé d'arc électrique. Ce système est placé sur un bras robotisé permettant ainsi la fabrication 3D du conteneur. Ce procédé nécessite une optimisation par Intelligence Artificielle.

Rodolphe BOLOT, Alexandre MATHIEU - PLATEFORME CALHIPSO (Site Le Creusot)



(a) Exemple de pièce de type coque fabriquée au hall laser du Creusot en 2024. (b) Capsule cylindrique fabriquée WAAM après remplissage de poudre, mise sous vide, et scellement (gauche), même capsule après frittage (centre), différentiel de taille de grains (droite).

ICB-PMDM DE L'UTBM

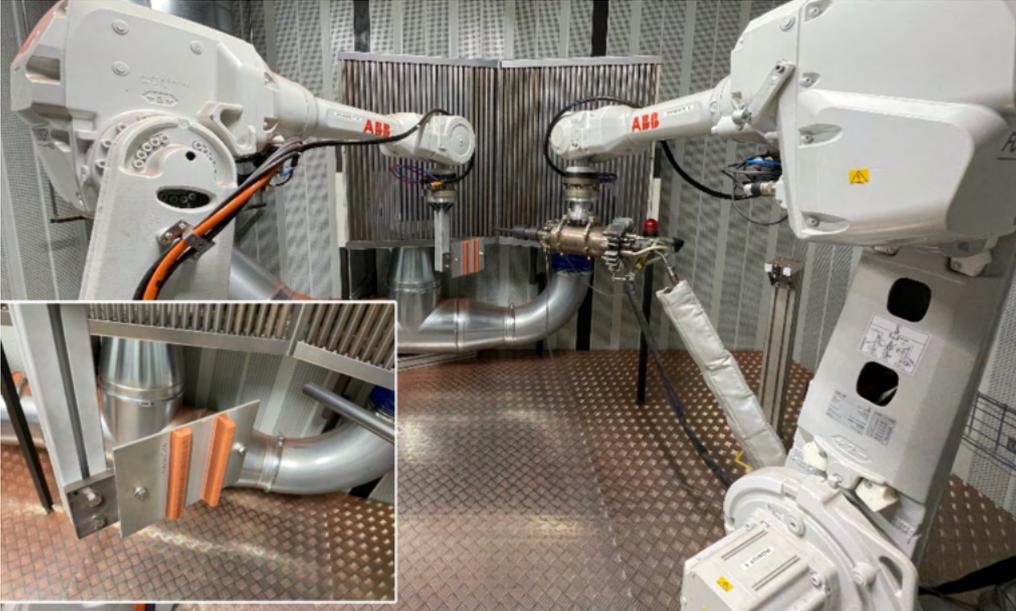
NOUVEL INVESTISSEMENT

Arrivée en janvier 2024 d'une nouvelle machine d'occasion de la société Nikon SLM Solution avec un volume de fabrication de 280 x 280 x 350 mm et équipée d'un laser rouge de 400 W. Emploi de cette machine dans des contrats de prestation (MBDA, CNES) avec le développement et caractérisation de matériaux et la réalisation de pièces prototypes.



UNE NOUVELLE CABINE DE PROJECTION - CABINE 4.0

Une nouvelle cabine de projection thermique intégrant les fonctionnalités de l'industrie 4.0 (chaîne numérique, instrumentation, monitoring temps réel) a été mise en fonctionnement. Elle est équipée de deux robots industriels à 6 axes fonctionnant de concert pour travailler en particulier sur des pièces à géométrie complexe avec ses 12 degrés de libertés. Les premiers projets traités concernent la mise au point de nouveaux procédés hybrides combinant différentes technologies de traitement des surfaces comme la fabrication additive (projection à froid robotisée) et soustractive (usinage robotisé) avec le contrôle sans contact de la géométrie. Cette cabine bénéficie de plus d'une isolation phonique de haute performance pour réduire significativement l'impact sonore sur l'environnement de travail.



Fabrication Additive par Cold Spray de Structures en Cuivre

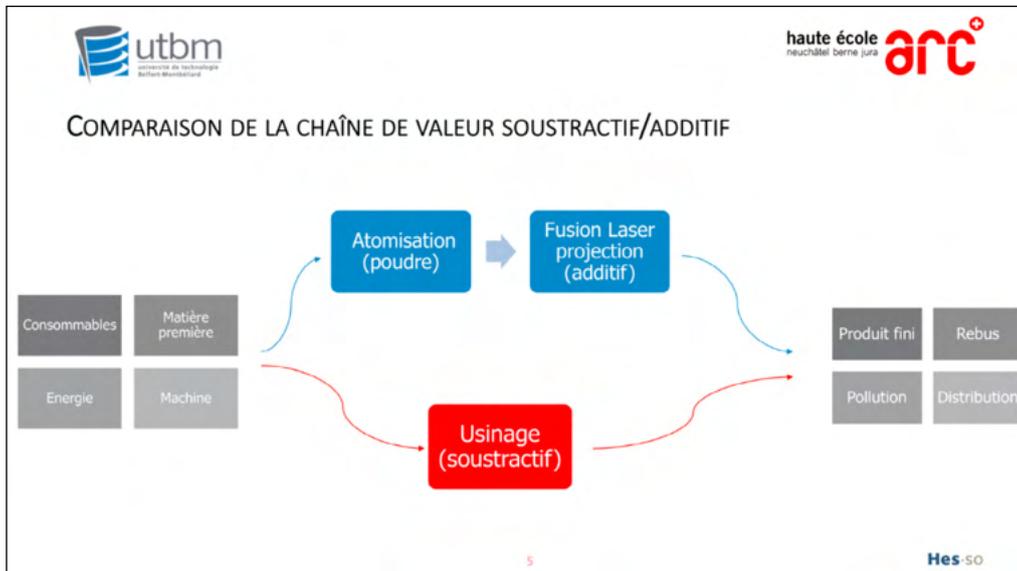
MINI CHAMBRE DE COMBUSTION PAR FABRICATION ADDITIVE

- Développement de chambres de combustion pour le new space (ouverture du marché des lanceurs à de plus petites sociétés au niveau européen);
- Chambres de combustion bimatériaux avec une paroi refroidie en alliage de Cu et une paroi externe base Ni pour la reprise des efforts de poussée;
- Différentes solutions de fabrication additive : LPBF et Cold Spray;
- Mini-chambre avec 80 canaux de section variable et des ailettes internes paroi interne en alliage de Cu par LPBF et paroi externe base Ni par Cold Spray.



EVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES PROCÉDÉS ADDITIFS

Les procédés additifs de la plateforme de recherche TITAN produisent des pièces et revêtements à haute valeur ajoutée. Leurs impacts environnementaux restent très largement méconnus. Dans ce cadre, l'équipe ICB-PMDM commence à déployer une évaluation systématique des procédés, en prenant en compte les entrants et extrants comme les consommations d'énergie ou les déchets de fabrication. L'équipe a bénéficié d'un soutien de la délégation Centre-Est du CNRS sur l'appel à initiatives pour la transition environnementale. Grâce à cette aide, les consommations énergétiques globales sont transmises et analysées au poste d'accueil de la plateforme.



Sur cette thématique, le projet Compass ("COMprehensive Production Assessment for Sustainable Systems") a été déposé au bureau Interreg (Franco-Suisse). Il a pour but d'évaluer les impacts environnementaux de la chaîne de valeur de la fabrication soustractive (He-ARC) et additive (ICB/PMDM). L'objectif est de recenser les impacts environnementaux sur l'ensemble du cycle de vie du produit, allant de la logistique jusqu'à la fin de vie afin d'identifier les étapes critiques et d'offrir un guide d'aide aux choix des procédés pour le secteur manufacturier.

NOUVEAUX ENTRANTS 2024

- Arrivée de Leila Sellami le 12/02/2024 en tant qu'Enseignante-Chercheuse Contractuelle (ECC);
- Arrivée de Mohamed-Hatem Allouche en tant que Maître de Conférences.

NOUVEAUX MEMBRES

- Ariel Kabwaya-Kongoloja : doctorant sur projet interreg Electrivert;
- Swarnali Hait : Post-doctorante projet Protec;
- Robin Vallereau : post-doctorant uB (projet Cocasse – EIPHI).

PLATEFORME ARCEN-Carnot

Directeur

Vincent VIGNAL, Vincent.Vignal@u-bourgogne.fr

Directeur Adjoint

Olivier HEINTZ, Olivier.Heintz@u-bourgogne.fr

La plateforme ARCEN-Carnot regroupe des équipements de pointe pour la nano-fabrication et la nano-caractérisation des matériaux avancés, de la photonique et de la biologie. Elle soutient également la recherche en mécanique, électronique et informatique.

Composée de 24 experts techniques (techniciens à ingénieurs), ARCEN-Carnot excelle dans la réalisation de nano-objets fonctionnels et la caractérisation physico-chimique des matériaux. Accessible aux acteurs académiques et industriels, elle est aussi un centre de formation reconnu, une des plateformes majeures de Bourgogne-Franche-Comté.

Soutenue par la région et le CNRS, la plateforme fait partie du réseau RENATECH+ et de la Fédération de Recherche Spectroscopies de Photoémission (FR2050) et collabore avec des centres spécialisés, permettant des analyses in situ des matériaux en conditions réelles.

La plateforme ARCEN-Carnot se divise en 4 centres :

- Le Centre de Micro/Nano Caractérisation (CMNC) apporte ainsi un soutien technique à la communauté scientifique et aux industriels, en mettant à leur disposition des équipements performants.
- Le Centre de Ressources Mécaniques a pour mission d'assister la recherche via la conception, la réalisation et l'adaptation de différents appareillages scientifiques spécifiques.
- Le Centre de Développement Informatique et Electronique (CDIE) est destiné à satisfaire les besoins en informatique et en électronique de l'ensemble des utilisateurs du Laboratoire ICB.
- Le Centre de NanoFabrication (CNF) met à disposition des équipements d'élaboration et de caractérisations cadre de projets nationaux et européens, ainsi qu'à l'ensemble de la communauté scientifique.

FAITS MARQUANTS

CENTRE DE MICRO/NANO CARACTÉRISATIONS (CMNC)



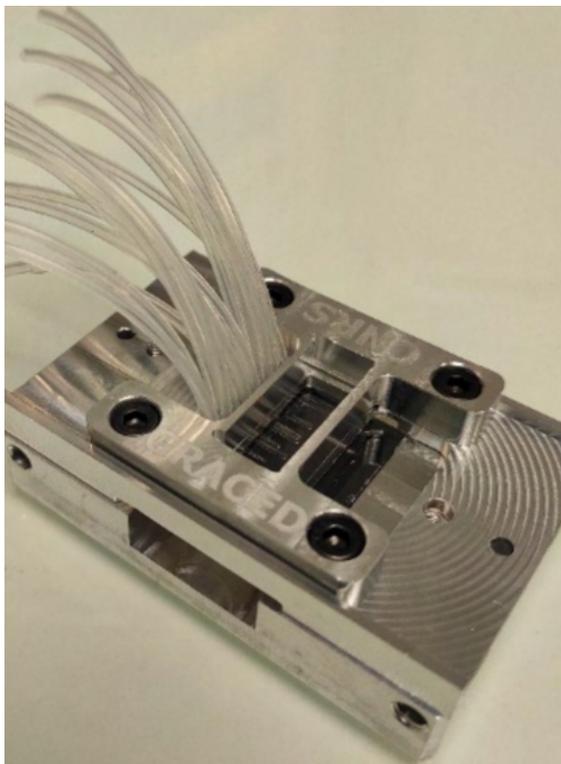
Dans le cadre de l'AAP 2024 de la Fédération de Recherche Spectroscopie de Photoémission (FR 2050 CNRS), deux projets de l'Institut Lavoisier de Versailles (UMR CNRS-UVSQ) ont été retenus pour réaliser des expériences à l'ICB en Cryo-XPS et HaXPES : ICSUS (Investigation of $\text{Cu}(\text{In}_x\text{Ga}_{1-x})\text{Se}_2$ SUB Surface) et MECRYLLIUM (MEsures CRYo sur GaLLIUM). Ces projets, portés respectivement par Solène Bechu et Anna Gagliardi, ainsi que Muriel Bouttemy et Kirène Gaffar ont été sélectionnés pour leur potentiel novateur dans le domaine de la spectroscopie de photoémission.

L'objectif principal de ces projets était de tester les capacités du dispositif de l'ICB en Cryo-XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy) et HaXPES (Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy). Cette collaboration a permis d'explorer les propriétés des matériaux à basse température et à haute énergie, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives dans le domaine de la recherche en physique des matériaux.

Une partie des résultats obtenus a été présentée au Journées Nationales des Spectroscopie de PhotoEmission à Lille (<https://www.jnspe.fr/>) et à l'European Conference on Application of Surface and Interface Analysis à Gothenburg, Sweden (<https://www.ecasia2024.com>). Les articles correspondants ont été soumis pour publication. Des nouveaux projets ont été déposés pour l'AAP 2025.

Par ailleurs, Rémi Chassagnon est partiellement impliqué dans le projet i-NanoT qui a reçu un avis technique favorable du comité de sélection UBFC pour le FEDER. Les étapes administratives sont en cours et le projet démarrera dès que les conventions seront signées.

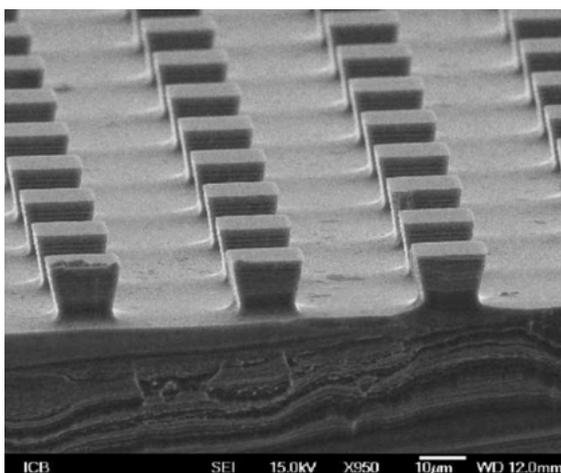
CENTRE DE NANOFABRICATION (CNF)



Dispositif de couplage Biocapteur PIC / microfluidique développé dans le projet GRACED. Réalisation conjointe CNF et CRM, plateforme ARCEN.

Technologie des guides d'onde photonique et plasmonique intégrés sur puce et couplage microfluidique pour les applications Biocapteurs.

Les plus récents projets de l'ICB s'appuyant sur les ressources du centre de nanofabrication ont pour objectif de réaliser des démonstrateurs visant des applications concrètes telles que l'analyse ultra-sensible de marqueurs biologiques pour le diagnostic médical ou pour la sécurité alimentaire. Il s'agit des projets européens AMBROSIA (2023-2026, dépt. Photonique) et GRACED (2021-2024, dépt. Nanosciences). Le point commun entre ces projets vis-à-vis de l'utilisation des ressources en nanofabrication est la réalisation de guides d'onde photoniques intégrés sur puce silicium (Photonic Integrated Chip = PIC) qui sont au cœur de ces dispositifs biocapteurs, ainsi que le couplage avec des modules microfluidiques. Cette technologie permet d'optimiser la sensibilité, la vitesse des analyses et d'en baisser leur coût. Le dernier projet obtenu en date, le projet européen MULTILAB (2024-2027, dépt. Nanosciences) va permettre de porter l'accent sur le développement de nouveaux types de modules microfluidiques adaptés à cette thématique, vers des concepts «Lab-on-chip». Des dispositifs permettant de coupler PIC et module microfluidique ont été développés en collaboration avec le Centre de Ressources Mécaniques de la plateforme ARCEN-Carnot.



Nouveau développement technologique en Gravure

Dans le cadre de la collaboration entre le CNF et NAPA Technologies (74) société spécialisée dans la lithographie par nano-impression (NIL), un procédé de gravure profonde de moules maitres en silicium pour le NIL a été développé. Permettant de graver le silicium sur des profondeurs de plusieurs dizaines de μm , avec des rapports d'aspect hauteur/largeur pouvant aller jusqu'à 2,5 pour l'instant, ce procédé de type « Bosch » a été développé sur notre bâti de gravure ionique réactive (RIE) Oxford. Son principe est d'alterner périodiquement des étapes de gravure au SF_6/O_2 et des étapes de passivation au C_4F_8 qui permettent ainsi de maintenir la verticalité des flancs sur des profondeurs élevées.

Cette nouvelle capacité de fabrication dont le développement continuera en 2025 ouvre la voie à de nouveaux projets, collaborations ou prestations qui auront besoin de réaliser des gravures profondes dans le silicium.

PLATEFORME SMARTLIGHT

Une plateforme au service de la recherche et de l'innovation en Photonique

Responsable

Benoit Cluzel, Benoit.Cluzel@u-bourgogne.fr



La plateforme SMARTLIGHT héberge des équipements dédiés à la manipulation et l'analyse spatiale, spectrale et temporelle des interactions lumière matière avec un intérêt particulier pour la matière micro et nanostructurée et les phénomènes ultrabrefs. Elle vise à catalyser l'innovation en photonique par des équipements de pointe et une approche interdisciplinaire.

Labellisée EquipEx+ en 2021 et membre du Hub Plateforme du PEPR LUMA à partir du 1er janvier 2025, la plateforme SMARTLIGHT est associée au Laboratoire ICB (Dijon) et à l'Institut FEMTO-ST (Besançon). Elle est équipée d'installations uniques dédiées au développement de technologies photoniques disruptives alliant l'intelligence artificielle et les sciences de la lumière. La plateforme accompagne des projets de recherche qui développent des nouveaux dispositifs à forte valeur ajoutée et faible empreinte énergétique, met ses équipements à disposition des formations initiale et continue au sein des établissements d'enseignement supérieur, et peut répondre à des besoins de prestations de services de très haute technicité.

Les ressources de la plateforme SMARTLIGHT se répartissent en 4 pôles technologiques, chacun équipé d'équipements scientifiques uniques au niveau national et financé par France 2030 dans le cadre du projet EquipEx+ homonyme.

1. Le Pôle optoélectronique regroupe les équipements de préparation et caractérisation des signaux optoélectroniques jusqu'à 100GHz.
2. Le Pôle de microscopie multimodale héberge dix stations de microscopie optique, avec diverses configurations, incluant microscopies en champ lointain et en champ proche.
3. Le Pôle d'optique 3D propose des solutions pour la réalisation de composants fibrés, de circuits photoniques intégrés et de dispositifs opto-fluidiques, incluant une imprimante 3D de verre avec une résolution nanométrique.
4. Le Pôle lasers ultrarapides comporte quinze systèmes lasers femtosecondes pour l'analyse des processus ultra brefs et la micro-nanostructuration, couvrant une large gamme de longueurs d'onde et d'énergies et couplés à divers dispositifs de façonnage et caractérisation dans le domaine spatial et temporel.

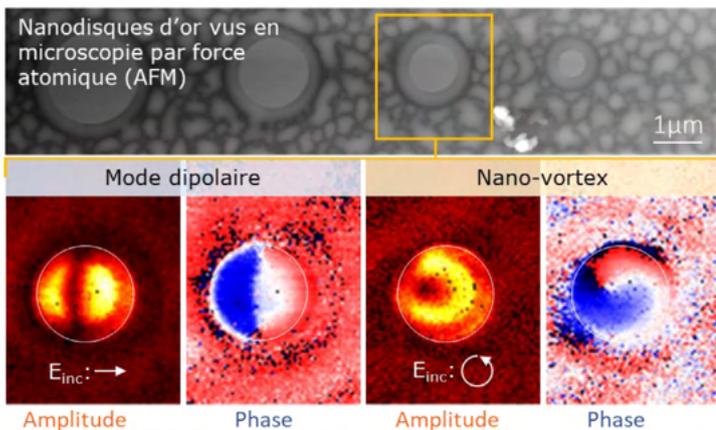


anr [©]
agence nationale
de la recherche
ANR-21-ESRE-0040

RÉGION
BOURGOGNE
FRANCHE
COMTE

FAITS MARQUANTS

INSTALLATION D'UN NOUVEAU MICROSCOPE EN CHAMP PROCHE OPTIQUE



Cet équipement, cofinancé par France 2030 et la région Bourgogne-Franche-Comté, permet d'observer les champs électromagnétiques dans les matériaux nanostructurés avec une résolution spatiale sub-longueur d'onde. L'équipement installé en juin 2024 dans des locaux provisoires à l'ICB fournit déjà ses premières images (voir la figure 1 ci-dessous). Il sera transféré dans un laboratoire intégralement rénové en janvier 2025.

Fig. 1 : Premières images obtenues à l'aide du microscope en champ proche optique.

Des nanodisques d'or de quelques centaines de nanomètres sont illuminés par une source laser dont la polarisation est contrôlée. En polarisation rectiligne, le mode de résonance dipolaire est révélé tandis qu'un nano vortex électromagnétique visible sur l'image de phase est généré à l'aide d'une polarisation circulaire. Le vortex résulte de la rotation du mode dipolaire et la topologie cylindrique du disque.

HUB INFRASTRUCTURES LUMA



Au 1^{er} janvier 2025 SMARTLIGHT intègre le Hub Infrastructures du PEPR LUMA destiné à structurer la recherche française autour de la valorisation des interactions lumière-matière. Une nouvelle source laser ultrarapide est financée par LUMA et complétera le système de microscopie champ

proche récemment installé pour accéder à la dynamique temporelle des phénomènes électromagnétiques mis en jeu à l'échelle nanométrique. De façon générale, ce sont l'ensemble des équipements des 4 pôles technologiques de la plateforme qui sont mis à disposition de la communauté nationale des chercheurs dans le domaine de l'optique physique.

DÉPLOIEMENT DU SITE WEB DE LA PLATEFORME



Le site web de la plateforme a été mis en ligne le 3 juillet 2024.

Vous y trouverez notre actualité, nos offres de prestations, nos formations ainsi que les différents formulaires de contact de la plateforme.



UN NOUVEL INGÉNIEUR DE RECHERCHE SUR LA PLATEFORME

Depuis le 1^{er} décembre 2024, la plateforme accueille Florian Dell'Ova, recruté au laboratoire par le CNRS comme Ingénieur de Recherche. Spécialiste en instrumentation scientifique pour l'analyse des interactions entre lumière et matière à l'échelle nanométrique, Florian conçoit et met en œuvre sur la plateforme des systèmes d'imagerie sublongueur d'onde. Florian participera aux projets scientifiques des départements et des plateformes de l'ICB qui requièrent son expertise en microscopie optique avancée et pilotera l'évolution des équipements du Pôle Microscopie multimodale de SMARTLIGHT afin d'intégrer les technologies les plus récentes d'imagerie hyperspectrale et d'intelligence artificielle pour l'analyse et le contrôle dynamique des signaux à faible flux.

QUELQUES CHIFFRES CLÉS

120

Le nombre de chercheurs, enseignants chercheurs, ingénieurs, doctorants et postdoctorants qui bénéficient des ressources de la plateforme.

4M€

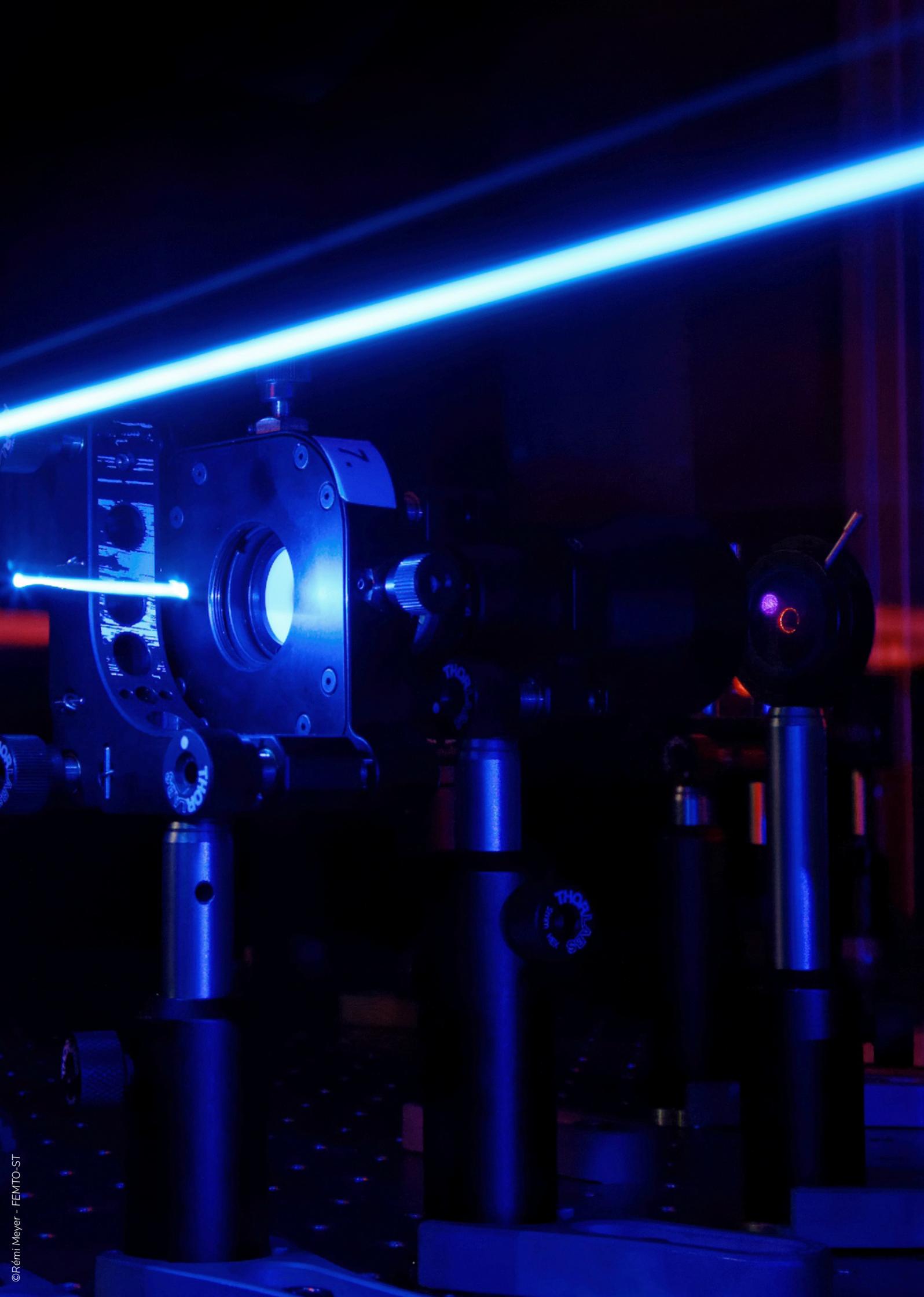
Le montant des investissements réalisés depuis 2022.

13M€

Le montant des équipements scientifiques mutualisés en région.

27

Le nombre de projets qui ont exploité les équipements de la plateforme en 2024 : 7 projets européens, 10 projets ANR, 4 contrats de recherche internationaux, 2 projets interdisciplinaires du CNRS et 5 thèses CIFRE.



PLATEFORME CALHIPSO

Responsable

Frédéric BERNARD, frederic.bernard@u-bourgogne.fr

Le projet CALHIPSO (ANR-21-ESRE-0039), intégré au projet France 2030, est une plateforme structurante du Laboratoire ICB qui vise à ouvrir des perspectives de coopération entre la recherche universitaire et le monde industriel afin de stimuler le développement des industries métallurgiques en France en mettant en place deux enceintes de Compression Isostatique à Chaud (CIC).

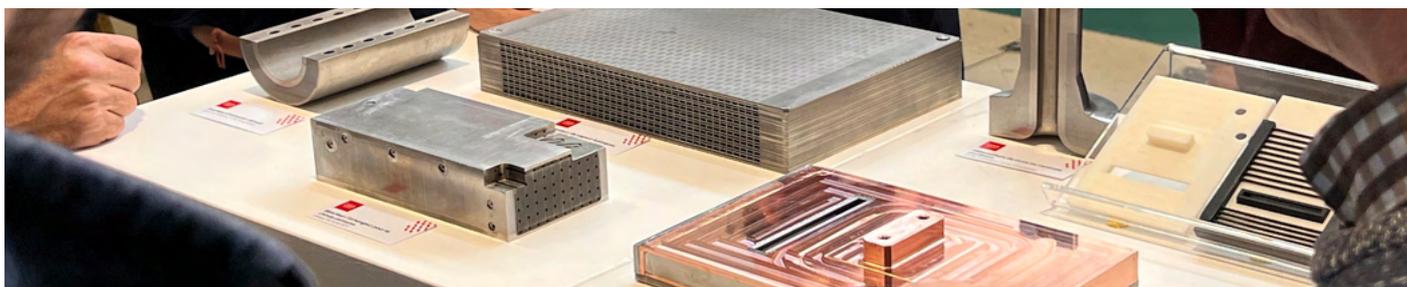
FAITS MARQUANTS

INAUGURATION D'UNE ENCEINTE CIC POUR SOUTENIR LE DÉVELOPPEMENT DES INDUSTRIES MÉTALLURGIQUES



Le 8 février 2024, la première enceinte CIC a été inaugurée au CEA-Liten de Grenoble. Déposé auprès de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) dans le cadre de France 2030 et de l'appel d'offres EquipEx+ CALHIPSO vise à établir un réseau d'acteurs français spécialisés dans la technologie CIC. Son objectif est de générer des emplois hautement qualifiés dans des secteurs clés comme l'aéronautique, l'automobile, l'énergie (notamment le nucléaire) et la défense.

Ce nouvel équipement remplace une ancienne version datant de 1983, offrant des capacités améliorées telles qu'une plus grande taille et un module de trempe pour un refroidissement rapide. Cette technologie permettra le développement de procédés de fabrication innovants et économes en matière, notamment pour les applications énergétiques et nucléaires. De plus, elle ouvrira la voie à la production de pièces complexes pour divers secteurs tels que les énergies nouvelles, les transports (notamment l'aéronautique) et l'industrie. La deuxième enceinte CALHIPSO, en cours d'installation au Creusot, sera dédiée à l'étude du passage à l'échelle et à la fabrication de prototypes. Plusieurs partenaires contribuent à ce projet, chacun apportant son expertise spécifique, allant de la modélisation physique à la simulation de la microstructure des matériaux.



CÉRÉMONIE DE LANCEMENT DES TRAVAUX DU BÂTIMENT CALHIPSO AU CREUSOT



Le 18 novembre 2024, le Laboratoire ICB annonçait le début des travaux du futur bâtiment de l'EQUIPEX+ CALHIPSO à IUT Le Creusot (Université de Bourgogne).

Ce projet ambitieux représente une avancée majeure pour la recherche scientifique et l'industrie. Il vise à promouvoir l'utilisation de la compression isostatique à chaud (CIC) et à développer les technologies liées à la métallurgie des poudres.

Grâce à CALHIPSO, la Région Bourgogne-Franche-Comté confirme son engagement en faveur de l'innovation et du développement technologique à l'échelle nationale, européenne et internationale.

PLATEFORME TITAN

Directrice

Cécile LANGLADE, [Cécile.Langlade@utbm.fr](mailto:Cecile.Langlade@utbm.fr)

Directeur Adjointe

Frédéric DEMOLY, Frédéric.Demoly@utbm.fr

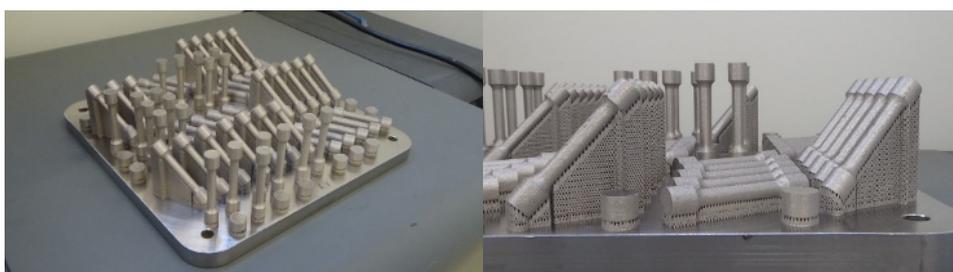
La plateforme TITAN au service de nombreux utilisateurs réguliers et partenaires académiques ou industriels veille à maintenir et faire évoluer son parc instrumental afin de toujours proposer des équipements à l'état de l'art dans les domaines de l'élaboration de matériaux et leur mise en forme sous forme de revêtements ou pièces en fabrication additive. Au travers de monomatériaux de composition originale, de multimatériaux, matériaux actifs, impression 3D/4D, les domaines adressés sont variés comme doivent l'être nos installations. Pour 2024 et avec le soutien de différents partenaires financiers, la plateforme TITAN a pu acquérir les différents équipements suivants :

IMPRESSION 3D MÉTALLIQUE

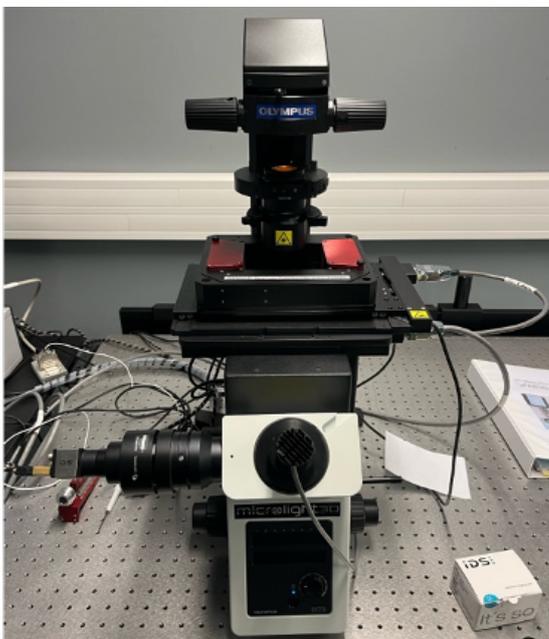
Arrivée en janvier 2024 d'une nouvelle machine d'occasion de la société Nikon SLM Solution avec un volume de fabrication de 280 x 280 x 350 mm et équipée d'un laser rouge de 400 W. Cet équipement vient remplacer 2 machines plus anciennes et est d'ores et déjà utilisée dans différentes études (industrielles et académiques) sur le développement et caractérisation de matériaux et la réalisation de pièces prototypes.



Photos de la machine SLM 280



Exemple de plateaux de fabrication



SYSTÈME DE POLYMERISATION À DEUX PHOTONS – MICRO-LIGHT 3D

Financé par le PEPR DIADEM (Projet ciblé ARTEMIS) et co-financé par le projet l'EUR-EIPHI (Projet Boost-4D), ce système de microfabrication additive de haute précision est conçu pour la réalisation de microstructures tridimensionnelles complexes. Doté de deux lasers pulsés (532 nm en vert et 1064 nm en infrarouge), il permet une focalisation précise des faisceaux laser au sein d'une résine photosensible. Le système optique intègre cinq objectifs interchangeables permettant d'optimiser la résolution et la vitesse d'impression. La polymérisation à deux photons permet une fabrication voxel par voxel, assurant une résolution submicronique sur des structures variant du micromètre à plusieurs dizaines de millimètres. Cet équipement très polyvalent (large éventail de résines photosensibles i.e. acryliques, hydrogels, etc.), ouvre des nouvelles perspectives pour des innovations en mécanique, optique et biomédecine.

Système de fabrication à 2 photons – Microlight 3

MICROCENTRIFUGEUSE VENTILÉE - FISHERBRAND™ ACCUSPIN 21

L'acquisition de la microcentrifugeuse ventilée Fisherbrand accuSpin 21, financée par le CNRS, renforce les capacités de formulation d'encre fonctionnelles pour l'impression 4D, développées au sein de l'équipe CO2M. Grâce à sa capacité à atteindre une force centrifuge maximale de 21 000 x g, cet équipement accélère la séparation des phases dans les suspensions colloïdales, jouant ainsi un rôle essentiel dans plusieurs étapes clés de la formulation. Il permet notamment une sédimentation rapide des particules, y compris des structures légères comme les nanotubes de carbone, facilitant ainsi la purification et la concentration des suspensions. Il optimise également les processus de changement de solvant, indispensables pour la fonctionnalisation des particules dans divers milieux. En améliorant la reproductibilité et la stabilité des formulations, cette microcentrifugeuse contribue au développement de solutions fonctionnelles adaptées aux exigences de l'impression 4D.



MÉLANGEUR PLANÉTAIRE – THINKY ARE-250

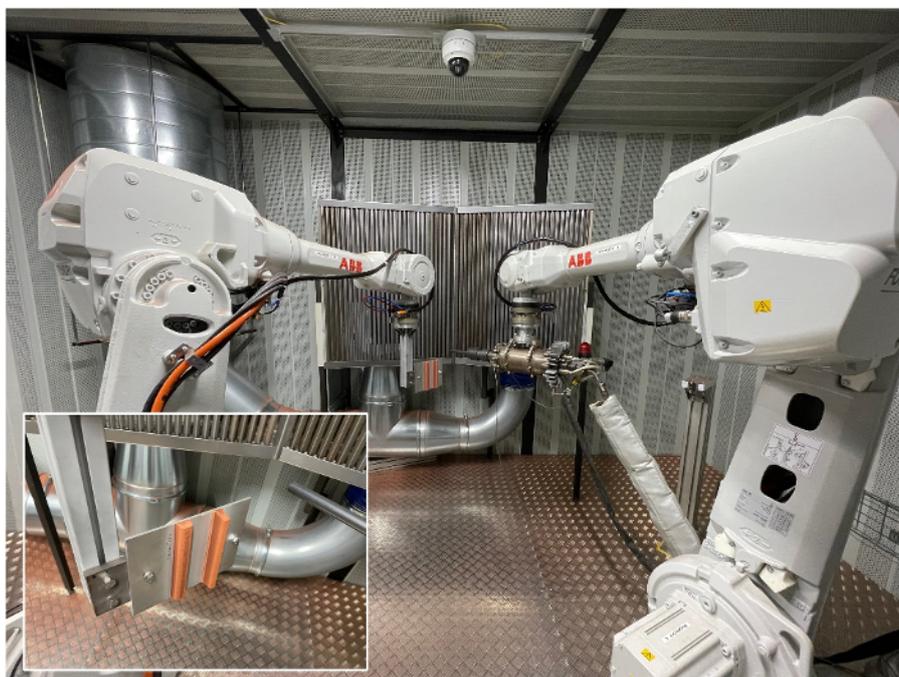
Financé par la Chaire Professeur Junior, ce mélangeur industriel planétaire THINKY ARE-250 permet le mélange, la dispersion et le dégazage de divers composés de manière rapide et reproductible.



Il est particulièrement utile pour la synthèse et la formulation de solutions visqueuses, qui requièrent un mélange précis de différentes phases, notamment l'association d'un liquide et de particules solides, tout en assurant un dégazage efficace des bulles d'air introduites lors du processus. Grâce à sa capacité à mélanger rapidement et de manière homogène des élastomères et hydrogels chargés en particules, cet équipement facilite la préparation de formulations complexes et fonctionnelles, notamment celles nécessaires aux exigences de l'impression 4D. La modularité de l'équipement permet de traiter différents types de contenants (bocaux, béciers, seringues, cartouches), garantissant ainsi des formulations directement exploitables sur l'imprimante. Dans le cadre des travaux menés au sein de l'équipe CO2M, il joue un rôle clé dans le développement des activités en impression 4D, en garantissant des formulations reproductibles et adaptées aux applications de pointe.

UNE NOUVELLE CABINE DE PROJECTION - CABINE 4.0

Afin d'accueillir les nouveaux développements des équipes et partenaires en termes de fabrication additive 3D et d'hybridation des procédés (additif/soustractif), une nouvelle cabine de projection thermique intégrant les fonctionnalités de l'industrie 4.0 (chaîne numérique, instrumentation, monitoring temps réel) a été entièrement conçue et réalisée par le personnel hautement qualifié de la plateforme et mise en fonctionnement durant l'année 2024. Elle est équipée de deux robots industriels à 6 axes fonctionnant de concert pour travailler en particulier sur des pièces à géométrie complexe avec ses 12 degrés de libertés. Les premiers projets traités concernent la mise au point de nouveaux procédés hybrides combinant différentes technologies de traitement des surfaces comme la fabrication additive (projection à froid robotisée) et soustractive (usinage robotisé) avec le contrôle sans contact de la géométrie. Cette cabine bénéficie de plus d'une isolation phonique de haute performance pour réduire significativement l'impact sonore sur l'environnement de travail.



Fabrication Additive par Cold Spray de Structures en Cuivre.

PURIFICATEUR D'EAU - PURELAB QUEST ELGA LABWATER

Financé par le CNRS, cet équipement fournit trois types d'eau purifiée : Type I (ultrapure), Type II (pure) et Type III (perméat d'osmose inverse), répondant ainsi aux besoins variés des laboratoires. Compact et économique, il est conçu pour les applications telles que la spectrométrie de masse, la spectrophotométrie et la spectroscopie atomique. Son design ergonomique assure une manipulation intuitive et un entretien simplifié. De plus, il intègre une approche écoresponsable, avec plus de 85 % de matériaux recyclés et des consommables durables.



FINANCEURS



PARTENAIRES PRINCIPAUX





Remerciements : Merci à l'ensemble du personnel du laboratoire pour sa contribution à la rédaction ainsi qu'à la mise à disposition des photographies et des données.

Crédits photos/illustrations :

Service communication du Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne.

Vincent Arbelet - photographe.

Impression : S2E impressions

Date de publication : Février 2025



NUIT EUROPÉENNE DES CHERCHEURS 2024
©Vincent Arbelet

Site de Dijon
9 avenue Alain Savary
BP 47870
F-21078 DIJON

Site de Chalon-sur-Saône
IUT Chalon
1 allée des Granges Forestier
F-71100 CHALON SUR
SAONE

Site du Creusot
IUT Le Creusot - Hall Laser
12 rue de la Fonderie
F-71200 LE CREUSOT

Site de Belfort-Sevenans
Université de Technologie
Belfort-Montbéliard
rue de Leupe
F-90010 BELFORT