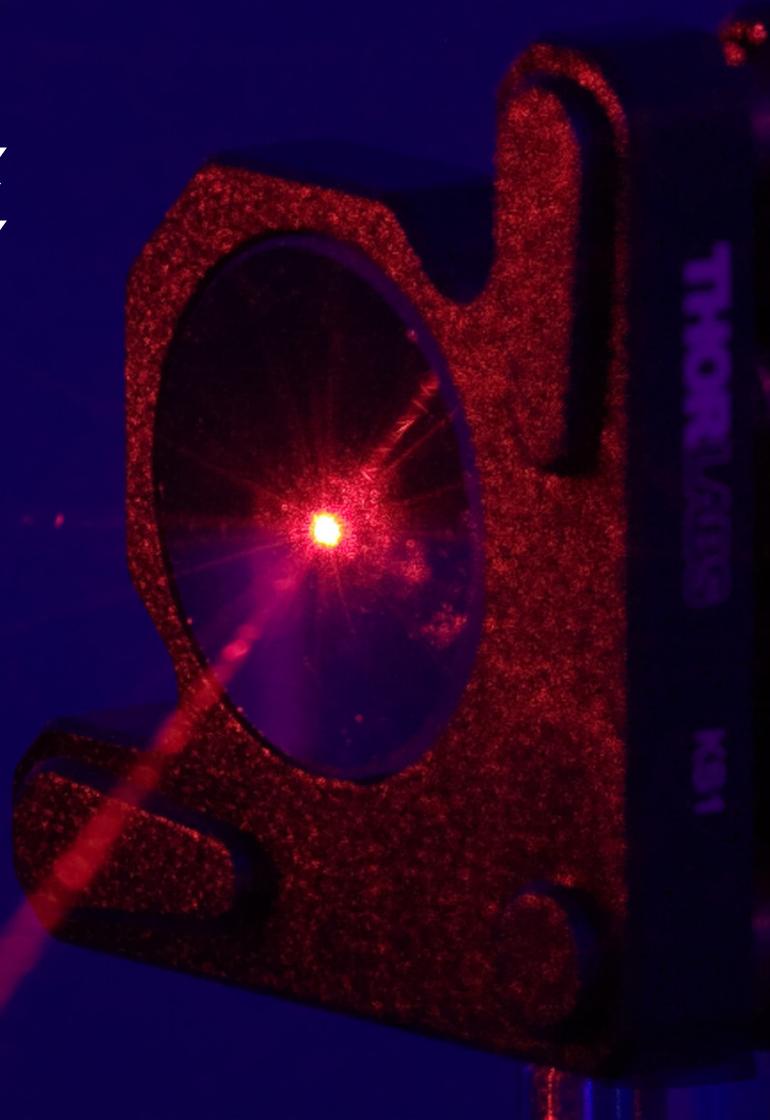




RAPPORT D'ACTIVITÉ 2023



LABORATOIRE INTERDISCIPLINAIRE CARNOT DE BOURGOGNE

www.icb.u-bourgogne.fr

Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne
Unité Mixte de Recherche N°6303 :



RAPPORT D'ACTIVITÉ 2023

DU LABORATOIRE INTERDISCIPLINAIRE CARNOT DE BOURGOGNE

SOMMAIRE

04 **ÉDITO** Stéphane GUÉRIN

05 **2023 EN CHIFFRES**

FOCUS SUR...

07 Nouveaux entrants

10 Journée des Nouveaux Entrants

11 Talents & Distinctions

L'ESSENTIEL 2023

17 Panorama 2023

19 Journée de l'ICB

21 HRMS 2023

23 EOSAM 2023

TEMPS FORTS SCIENTIFIQUES

27 CO₂M

31 ICQ

37 Interfaces

41 Nanosciences

47 Photonique

53 PMDM

61 Plateforme ARCEN-Carnot

65 Plateforme TomoXpert



ÉDITO

La physique, la chimie et les sciences de l'ingénieur au service des technologies et des matériaux du futur.

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 (Sévenans), le laboratoire ICB incarne au meilleur niveau les ambitions de recherche du CNRS, de l'Université de Bourgogne, 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 plateforme TomoXpert sur le contrôle non destructif (CND) se développe progressivement sur le site de Chalon/Saône en s'adossant sur le consortium industrie - uB - Sayens du GIS CND LAB', dont l'ICB est pilote.

Le présent rapport vous fera découvrir l'impressionnante créativité qui se décline par des projets tant nationaux qu'internationaux, par des projets stratégiques du PIA et France 2030, par des mises en valeur en interaction avec le monde socio-économique, ou par l'organisation de conférences internationales de premier plan (EOSAM, HRMS), sans oublier les distinctions scientifiques qui honorent nos enseignants-chercheurs et chercheurs les plus emblématiques en particulier dans le classement de Stanford. Notre laboratoire est également investi dans la formation par la recherche en coordonnant des masters internationaux de premier plan, dont un Erasmus Mundus et par son implication constante dans le développement de la Graduate School EIPHI. Notre laboratoire interdisciplinaire développe des activités transversales associées à des enjeux sociétaux majeurs et structurantes à l'échelle de notre région, identifiées par cinq axes : matériaux innovants et photonique pour la santé, industrie 4.0, impression 4D, énergie & environnement, numérique et intelligence artificielle. Soucieux du bien-être de chacun au sein du laboratoire, nous avons mis en place une cellule qualité de vie au travail et nous avons instauré une journée annuelle de l'ICB.

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 2023. 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.

Stéphane GUÉRIN,
Directeur du laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne - ICB

2023 EN CHIFFRES

RESSOURCES HUMAINES

+300 MEMBRES

200 permanents :

113 Enseignants-chercheurs
25 Chercheurs CNRS
28 ITA CNRS
34 IATSS Universités

138 non permanents :

13 Post-doctorants
97 Doctorants
8 CDD IT
20 Cherch.associés - Visiteurs/an

RECHERCHE

**6 DÉPARTEMENTS
SCIENTIFIQUES**

**2 SERVICES D'APPUI
À LA RECHERCHE**

**5 PLATEFORMES
TECHNOLOGIQUES**

3 START-UP
SINTERmat
ITEN
Naxagoras Technology

FORMATIONS

5 FORMATIONS

> 5 Masters dont Erasmus Mundus: Technologies Quantiques, Contrôle et Durabilité des Matériaux, Photonique et Nanotechnologie, Procédés et Matériaux, Industrie Nucléaire.

> 2 Écoles doctorales : CARNOT-PASTEUR et SPIM

PUBLICATIONS

~ **220 PUBLICATIONS**
SCIENTIFIQUES/ AN (en moyenne)

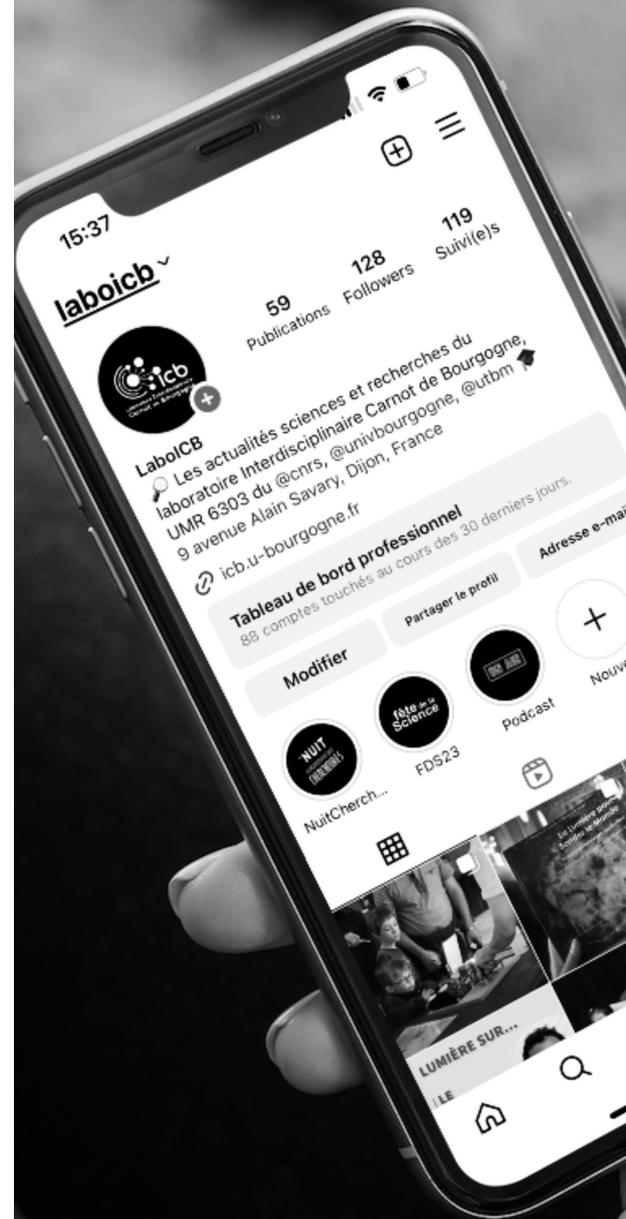
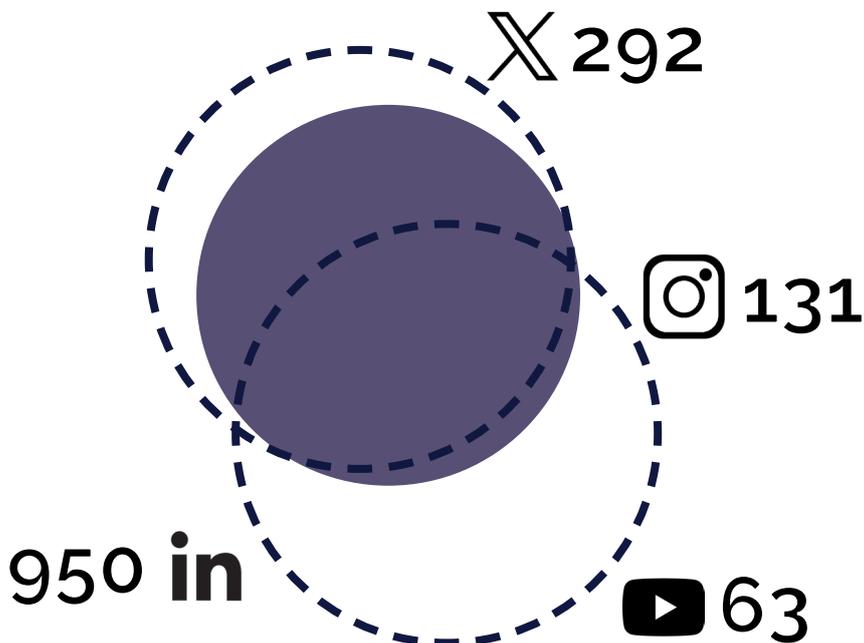
BUDGET ANNUEL



RÉSEAUX SOCIAUX

+1300 ABONNÉS
SUR LES RÉSEAUX SOCIAUX

Rejoignez le laboratoire ICB : @LaboICB



NOUVEAUX ENTRANTS PERMANENTS



PIRAS Céline
ASI CNRS - Plateforme ARCEN-Carnot

Céline Piras a rejoint le laboratoire ICB suite à sa réussite au concours ASI (Assistante ingénieure en science des matériaux / caractérisation B3C43). Titulaire d'une licence de physique-chimie, elle a travaillé depuis 2016 à l'Université de Strasbourg pour l'Ecole de Chimie des Polymères et Matériaux d'une part et l'Institut de Chimie et Procédés pour l'Energie l'Environnement et la Santé d'autre part. Elle a pris ses fonctions le 1er décembre au sein de la plateforme ARCEN-Carnot au Centre de Caractérisation des Matériaux Divisés et Densifiés (C2MD2).

Celine.Piras@u-bourgogne.fr



CALAIS Théo
Chaire de Professeur Junior UTBM - Département CO2M

Theo CALAIS occupe une Chaire de Professeur Junior à l'UTBM, spécialisé en science des matériaux avec un accent sur le développement de matériaux intelligents pour la fabrication additive et l'impression 4D. Théo a débuté sa carrière universitaire avec un diplôme en génie des matériaux et un M.Sc. en matériaux multi et nano à l'ENSIACET et à l'Université de Toulouse, respectivement. Il a obtenu son doctorat de l'INP Toulouse au LAAS-CNRS, où il a mené une recherche interdisciplinaire innovante à l'intersection de la bio-ingénierie, de la matière molle et de la pyrotechnie, lui valant le Prix Leopold Escande de l'INP Toulouse. Il a réalisé un postdoc à Singapore University of Technology and Design (SUTD) sur l'impression 4D de liquides libres, financé par la bourse de recherche individuelle jeune d'A*Star (YIRG).

Theo.Calais@utbm.fr



DEMONCEAUX Cédric
Professeur des Universités, IUT Le Creusot - Département CO2M

J'ai soutenu ma thèse en analyse de séquences d'images en décembre 2004 au laboratoire MIS de l'Université de Picardie Jules Verne (UPJV) après un DEA en Analyse Appliquée obtenu en 2001. Mes activités de recherches se concentrent sur la Vision pour Ordinateur pour des applications en robotique mobile. Je m'intéresse plus particulièrement à l'utilisation de capteurs de vision « nonconventionnelle » (sphérique, panoramique, RGBD, Vision+Laser, Vision+IMU...) pour la localisation de robots mobiles, la reconstruction 3D et l'analyse de scène 3D dynamique.

Cedric.Demonceaux@u-bourgogne.fr



GINHAC Dominique
Professeur des Universités uB - Département CO2M

J'ai obtenu mon diplôme d'ingénieur en 1995 suivi d'un doctorat en vision par ordinateur de l'Université Blaise Pascal (Clermont-Ferrand). J'ai intégré l'Université de Bourgogne comme maître de conférences en 2000 et suis devenu membre du Lezi UMR CNRS 6306. J'ai été directeur adjoint du Lezi en 2011, puis directeur du laboratoire en 2016 et membre du laboratoire ImViA en 2019.

Dominique/Ginhac@u-bourgogne.fr



MARTINS Renato
Maître de conférence uB - Département CO2M

J'ai effectué mon doctorat à l'INRIA Sophia Antipolis/France et à l'Ecole des Mines de Paris / Université Paris Sciences et Lettres et mon post doctorant au laboratoire CNRS I3S et au laboratoire VeRLab de l'Universidade Federal de Minas Gerais/Brésil. Mes intérêts de recherche portent sur la vision par ordinateur, l'apprentissage automatique et la vision robotique, plus spécifiquement dans les domaines de la vision 3D, de l'apprentissage profond géométrique, de l'analyse du mouvement humain, de la prédiction vidéo et de l'analyse et du traitement d'images RVB-D.

Renato.martins@u-bourgogne.fr



MOUGHAMES Johnny
Maître de conférence UTBM - Département CO2M

Johnny MOUGHAMES a obtenu son diplôme de Master en Nanoscience et Nanotechnologie en 2012. En 2016, il a obtenu son doctorat dans la modélisation et la fabrication de métamatériaux dans le domaine infrarouge à l'Université de Technologie de Troyes. Son expertise s'est ensuite développée lors d'un post-doctorat à l'Université de Franche-Comté au sein de FEMTO-ST, dans la conception et la fabrication de métamatériaux mécaniques et de circuits photoniques intégrés. Il est actuellement enseignant-chercheur à l'UTBM. Ses domaines de recherches actuels incluent la conception, la modélisation et la fabrication de métamatériaux 4D, et l'intelligence artificielle.



LOMBARD LATUNE Camille
Chaire Professeur uB - Département ICQ

Camille Lombard Latune a été recruté en 2023 sur une Chaire de Professeur Junior de l'Université de Bourgogne. Il apporte une nouvelle expertise à l'équipe DyTeQ sur la thermodynamique quantique et les systèmes ouverts. Ce travail est dédié à l'exploration de certaines applications d'un formalisme thermodynamique adapté à l'étude d'ensembles autonomes de systèmes quantiques. L'une des principales applications en vue est la conception de réfrigérateur autonome, ne nécessitant ni contrôle extérieur, ni bain thermique. En parallèle, en collaboration avec Graeme Pleasance (postdoc à l'Université de Stellenbosch, Afrique du Sud), il a finalisé et publié un article analysant certains effets bénéfiques du couplage fort entre système et bains pour les performances d'engins quantiques (opérant suivant le cycle d'Otto).

Camille.Lombard-Latune@u-bourgogne.fr



GUILLET Anne-Charlotte
IT CNRS - Département Interfaces

Anne-Charlotte Guillet vient de rejoindre S. Gauffinet et C. Labbez du groupe PCMC2 et occupe le poste d'assistant ingénieur de la plateforme d'analyses chimiques du Département. Son recrutement en tant que CDD-CNRS fait suite à la mutation de Karen Alloncle AI-CNRS dans un laboratoire de l'Institut de Géosciences du CNRS à Toulouse. Suite à un Master de géoscience, elle s'est spécialisée dans les techniques d'analyses élémentaires ICP par spectroscopie optique et de masse en occupant un poste d'AI au LISA/CNRS (Créteil), pendant 2 ans, puis un poste de technicienne à FILAB qu'elle occupait depuis 2020

Anne-Charlotte.Guillet@u-bourgogne.fr



STRUTYNSKI Clément
MCF uB - Département PHOTONIQUE

Clément Strutynski obtient son doctorat en Physique des Matériaux à l'Université de Bourgogne en 2016. Au cours de sa thèse, il développe des fibres solides et microstructurées à partir de verres de tellurite hautement purifiés pour la génération de supercontinuum dans le moyen infrarouge. De 2016 à 2020, il a été chercheur postdoctoral à l'Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux (ICMCB), à Pessac, en France. Ses activités portent alors sur la conception de structures fibrées combinant polymères, verres et métaux pour des applications lasers ou capteurs. Clément Strutynski intègre ensuite le groupe «Solitons, Lasers, Fibres et Photonique Infrarouge» (SAFIR) au Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB) à Dijon comme chercheur postdoctoral en 2020 puis il est nommé Maître de Conférences en 2023. Son activité de recherche est tournée vers l'élaboration de nouveaux matériaux vitreux pour l'optique, ainsi que le développement de fibres multi-matériaux fonctionnelles pour des applications en santé ou en photonique.

Clement.Strutynski@u-bourgogne.fr



MOSER Mathias
IT uB - Département PMDM

Doctorat obtenu en physico-chimie des matériaux en 2022 à l'université de Bourgogne. Les travaux de thèse portaient sur l'élaboration d'alliages à haute entropie base tungstène par des procédés de la métallurgie des poudres. Aujourd'hui en post doctorat à l'ICB dans l'équipe MaNaPI, engagé dans le cadre du plan France Relance en collaboration avec la société Sintermat. Les travaux de recherches menés actuellement ont pour objectifs l'étude du changement d'échelle de la technologie SPS pour l'industrie.

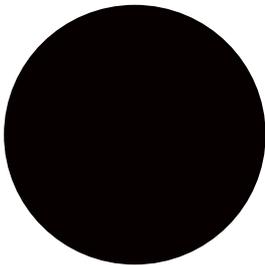
Mathias.Moser@u-bourgogne.fr



TRONCIN Romane
IT uB - Département PMDM

Après cinq années d'études à ESIREM, Romane TRONCIN obtient son diplôme d'ingénieur en matériaux et développement durable en 2022. Elle est ensuite directement embauchée via un plan de l'état « France Relance » qui a pour objectif de favoriser la recherche à application directe dans l'industrie. Cet emploi s'inscrit dans un partenariat entre le laboratoire ICB et la start-up Sintermat dans laquelle elle avait travaillé sous contrat d'alternance pendant sa dernière année de cycle ingénieur. Son activité est centrée sur l'élaboration de céramiques techniques (principalement les zircons et les spinelles) via le procédé de frittage SPS. Elles sont destinées à des secteurs variés comme l'horlogerie, la défense ou le médical. En jouant sur les caractéristiques des poudres (taille, morphologie, composition) et les conditions de frittage, il est possible de contrôler les microstructures des matériaux produits (taille des grains, densité, etc.). Le laboratoire ICB dispose de nombreux équipements de caractérisation fine (MEB, DRX, XPS, AFM, etc.) qui permettent à Romane d'analyser les poudres, de les fritter pour développer des matériaux innovants toujours plus performants (i.e. compréhension des mécanismes de frittage, relation microstructure / propriétés mécaniques). Elle travaille sur le site I3M (Institut Marey Maison de la Métallurgie) à Dijon.

Romane.Troncin@u-bourgogne.fr



TEMIME Widad
Gestionnaire - SAF

Temime.Widad@u-bourgogne.fr



THIAM CLERC ADELINE
Responsable Administrative - SAF

Titulaire d'une maîtrise des sciences et techniques comptables et financières (MSTCF) et d'un master 2 en sciences du management, respectivement obtenus en 2004 et 2005, j'ai travaillé plusieurs années en tant que contrôleur de gestion dans des entreprises privées, puis publiques, pour évoluer sur un poste de secrétaire générale à l'INRAP (Institut National de Recherches Archéologiques Préventives) Bourgogne Franche-Comté, pendant 11 ans. Afin de découvrir de nouveaux horizons, j'ai ensuite choisi d'intégrer la Communauté de Communes d'Auxonne Pontallier Val de Saône, en tant que directrice des ressources générales (responsable des services finances, RH, marchés publics), pendant plus de deux ans. Désireuse de rejoindre à nouveau un organisme où je pourrai exercer mes missions au profit de la recherche, je suis très heureuse d'intégrer le CNRS et plus particulièrement l'ICB en tant que responsable administrative.

Adeline.Thiam-Clerc@u-bourgogne.fr

JOURNÉE DES NOUVEAUX ENTRANTS

INTÉGRATION, COHÉSION, SENTIMENT D'APPARTENANCE

Le 6 avril 2023, l'ICB a accueilli ses nouveaux entrants à l'ESIREM lors d'une journée dédiée à l'intégration et à la découverte. L'événement a débuté par une présentation générale de l'unité et un mot de bienvenue soulignant l'importance des nouveaux membres dans la poursuite des objectifs scientifiques du laboratoire.

Au-delà des aspects scientifiques, la journée a également mis l'accent sur le renforcement du sentiment d'appartenance. Des visites ont été organisées sur les plateformes technologiques et des moments conviviaux ont contribué à créer une atmosphère collaborative, encourageant l'esprit d'équipe et la cohésion parmi les membres du laboratoire ICB.







PASCAL

ROLL

TALENTS & DISTINCTIONS

Prix 2023 de l'Académie des Sciences, Arts et Belles-Lettres de Dijon

L'Académie des Sciences, Arts et Belles-Lettres de Dijon active depuis 1742 et qui couronna Jean-Jacques Rousseau en 1750 a eu l'honneur de décerner le prestigieux Prix à Vincent BOUDON (Directeur de Recherche CNRS au Laboratoire ICB), Arnaud CUISSET (Professeur à l'Université du Littoral-Côte-d'Opale), Cyril RICHARD (Ingénieur de Recherche CNRS au Laboratoire ICB) et Maud ROTGER (Professeure à l'Université de Reims Champagne-Ardenne) pour leur remarquable ouvrage de vulgarisation intitulé « La Lumière pour Sonder le Monde : la Spectroscopie et ses Applications », préfacé par la professeure de physique atomique Anne L'Huillier, Prix Nobel de physique 2023, La cérémonie de remise des prix a eu lieu samedi 14 octobre 2023 à la salle des États de l'Hôtel de ville de Dijon, en présence de François Rebsamen, maire de Dijon et protecteur de l'Académie.

Cet ouvrage, fruit d'une collaboration exceptionnelle entre ces érudits, a été salué pour son engagement à démystifier et promouvoir la spectroscopie, une discipline souvent jugée démodée, et pour son rôle essentiel dans l'exploration de notre monde. En explorant la science de la spectroscopie sous l'angle de la lumière, les auteurs ont réussi à rendre accessible et captivante une discipline souvent considérée comme ésotérique.

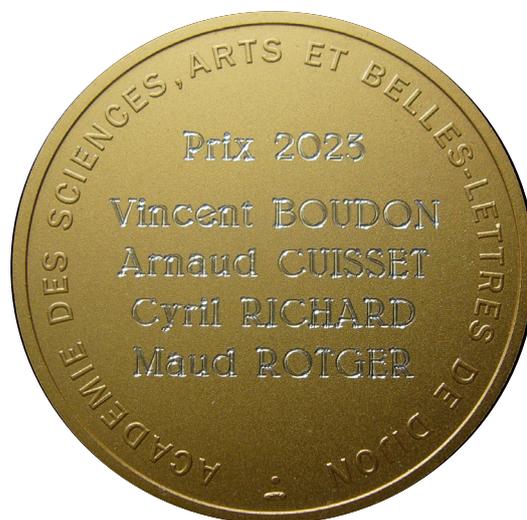
L'ouvrage se distingue par sa capacité à expliquer les concepts scientifiques avancés de manière accessible à un large public, du néophyte curieux au passionné de sciences averti. Il sert de pont entre le monde de la recherche et le grand public, permettant à tous de plonger dans les merveilles de la spectroscopie et de ses applications diverses, de l'astronomie à la médecine.

La cérémonie de remise des prix a été un grand événement, célébrant non seulement l'accomplissement de ces brillants auteurs, mais aussi l'importance de la diffusion de la connaissance scientifique. L'Académie des Sciences, Arts et Belles-Lettres de Dijon est honorée de reconnaître ce travail, et félicite ces auteurs pour leur contribution exceptionnelle à la vulgarisation scientifique.

Le maire et président de la Métropole, François Rebsamen, a souligné l'importance de l'érudition et de la diffusion du savoir scientifique pour la société et a félicité chaleureusement les lauréats pour leur contribution significative à cet égard.

Vincent.Boudon@u-bourgogne.fr

Cyril.Richard@u-bourgogne.fr





© Laboratoire ICB



« La Lumière pour Sonder le Monde : La Spectroscopie et ses Applications » récemment labelisé « Année de la physique 2023-2024 » par le CNRS est désormais annoncé en ligne sur le site de l'éditeur Ellipses :

<https://www.editions-ellipses.fr/accueil/15222-la-lumiere-pour-sonder-le-monde-la-spectroscopie-et-ses-applications-9782340087156.html>

La sortie officielle sera le 23 avril 2024. L'ouvrage est toutefois disponible en pré-commande au prix de 42€ et 35,99€ au format numérique.

Frédéric Demoly (UTBM) est promu lauréat de la chaire junior innovation de l'IUF

Frédéric Demoly, Professeur des Universités au département CO2M du Laboratoire ICB (UTBM), a été récompensé pour ses travaux de recherche sur l'impression 4D et promu lauréat de la chaire junior innovation de l'Institut universitaire de France (IUF). Sélectionné par un jury international pour la qualité de ses recherches, Frédéric Demoly a pour objectif de développer un procédé d'impression 4D hybride permettant de combiner dans un même objet 3D plusieurs matériaux avec des propriétés différentes. Ce procédé permettra de répondre à des besoins industriels en termes d'adaptabilité et de fonctionnalité.

Frederic.Demoly@utbm.fr



© UTBM

Frédéric Demoly a été reçu à La Sorbonne mardi 14 novembre 2023 pour ses travaux dans le domaine de l'impression 4D. Plus de 400 personnes étaient présentes pour célébrer l'installation de la 33e promotion de l'Institut universitaire de France (IUF).



Cérémonie de la 33e promotion de l'Institut universitaire de France © IUFRANCE

« Il aura fallu près de trente ans de développement pour voir la fabrication additive s'imposer dans nos vies quotidiennes et se diversifier permettant désormais de produire en polymère, métal ou céramique des objets à 3 dimensions (3D) de formes inaccessibles par les voies classiques. L'impression 4D est une technologie couplant fabrication additive et matériaux actifs sous l'effet d'une stimulation (champs électrique et/ou magnétique, lumière, température, pH, etc.). Elle permet à des objets 3D de disposer de capacité de changement de propriétés, formes et fonctionnalités au cours du temps. Or, l'impression 4D maîtrisée actuellement conduit à des objets ayant de faibles performances en temps de réponse, tenues mécaniques. »

F. Demoly

CLASSEMENT DE STANFORD 2023



Stanford University

L'université américaine de Stanford a récemment mis à jour la liste des chercheurs les plus influents dans le monde. Cette liste, considérée comme la plus prestigieuse de son genre, est établie sur les bases de données transdisciplinaires internationales de Scopus, et recouvre près de 22 domaines scientifiques et 176 sous-domaines. Mise à jour en novembre 2023, cette liste présente plus de 160 000 chercheurs parmi plus de 8 millions de scientifiques actifs dans le monde, soit 2%, toutes disciplines confondues.

Le Laboratoire ICB félicite ses 15 chercheurs pour cette très belle réussite.
Cet effectif représente 12% des chercheurs et enseignants-chercheurs du Laboratoire ICB :

- BOUHELIER Alexandre, DR CNRS, Directeur-Adjoint du Laboratoire ICB
- CHEVALIER Sébastien, PR uB (département PMDM)
- DUJARDIN Erik, DR CNRS (département Photonique)
- FINOT Christophe, PR uB (département Photonique)
- GRELU Philippe, PR uB (département Photonique)
- GUÉRIN Stéphane, PR uB, Directeur du Laboratoire ICB
- KIBLER Bertrand, DR CNRS (département Photonique)
- LIAO Hanlin, PR UTBM (département PMDM)
- MILLOT Guy, PR uB (département Photonique)
- MONTAVON Ghislain, PR UTBM (département PMDM)
- NONAT André, PR uB (département Interfaces)
- OLTRA Roland, DR CNRS (département Interfaces)
- PICOZZI Antonio, DR CNRS (département Photonique)
- TCHODO-DINDA Patrice, PR uB (département Photonique)
- WEEBER Jean-Claude, PR uB (département Photonique)

**Classement par ordre alphabétique*

PRIX ET AUTRES DISCTINCTIONS



Prix du meilleur poster

Quentin Pujol, doctorant de 3ème année au département Interfaces, a obtenu le prix du meilleur poster lors des journées annuelles de l'Association Française de l'Adsorption (AFA) qui ont eu lieu à Nancy 26 et 27 janvier. Cette association regroupe une centaine des chercheurs qui travaillent dans le domaine d'adsorption en France.

Quentin.Pujol@u-bourgogne.fr



Prix de la meilleure communication orale

Mélanie Romain, doctorante de 3ème année au département Nanosciences, en collaboration avec Femto-ST a obtenu le prix de la meilleure communication orale de la session Nanobiosciences au congrès C'Nano qui s'est tenu les 15, 16 et 17 mars dernier à Poitiers.

Mélanie a également obtenu le prix sponsorisé par la RSC de la meilleure communication orale au symposium J (Design and scaling up of theranostics nanoplatforms for health: towards translational studies) du congrès E-MRS Spring Meeting 2023, 29 mai – 2 juin 2023, Strasbourg (France).

Melanie.Romain@u-bourgogne.fr



Prix du meilleur poster

Alan Zerrouki, doctorant en 3ème année aux départements PMDM et Interfaces et en collaboration avec la deeptech lyonnaise ITEN, a obtenu le prix du meilleur poster lors des Journées Annuelles du Groupe Français de la Céramique (GFC) qui ont eu lieu à Limoges du 21 au 23 mars 2023.

Alan.Zerrouki@u-bourgogne.fr



PANORAMA 2023



Société Française
de Physique

150 ANS D'ENGAGEMENT
POUR LA PHYSIQUE

TOUTE L'ANNÉE

CONFÉRENCES THÉMATIQUES

- V. BOUDON, « Effet de serre et climat »
- H. JAUSLIN, « Photons : la lumière quantique, de Planck et Einstein aux technologies quantiques »
- C. RICHARD, « Il était une fois l'Univers »
- N. MILLOT, « Nanoparticules et nanomatériaux »
- Y. SACQUIN (CEA), « L'antimatière tombe-t-elle ? »

À retrouver sur le [YouTube](#) du laboratoire.

AVRIL 2023

ACCÉLÉRATEURS DE PARTICULES

Les 4, 5 et 6 avril, le Laboratoire ICB accueillait les membres de la division accélérateurs de la SFP pour une exposition inédite : faire découvrir le monde des accélérateurs de particules via des expériences ludiques, spectaculaires ou intrigantes.



SEPTEMBRE 2023

NUIT EUROPÉENNE DES CHERCHEURS 2023

La Laboratoire ICB a voyagé dans le temps avec 2 incroyables ateliers sur le stand « Retour vers le futur » :

- Spectroscopie et comètes,
- Fabrication de nouveaux matériaux compactés.



OCTOBRE 2023

FÊTE DE LA SCIENCE 2023

L'ICB a tenu un stand avec 2 ateliers dédiés à l'énergie durable et à l'environnement :

- Gaz à effet de serre,
- Pile à hydrogène.

Des discussions passionnantes, des démonstrations fascinantes et une véritable sensibilisation à la préservation de notre planète ont été au cœur de cette expérience.



ROYAUME
FRANCAIS

Calipso

Programme national de recherche
lié à la Compresseur industrielle à l'Etat

Calipso, un système innovant
pour faire des projections et capteurs avec
recherche universitaire et monde industriel
pour créer une technologie d'Etat.

NIVEAUX D'INTERVENTION

SCIENTIFIQUE

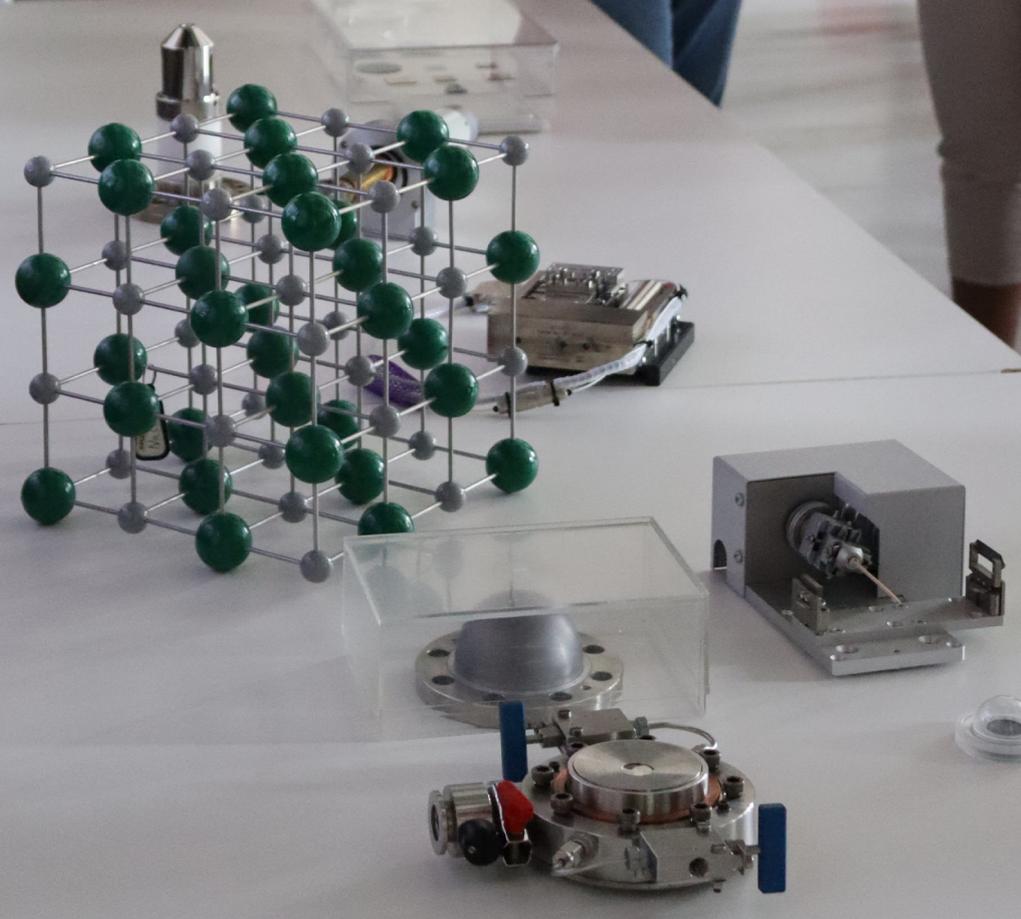
- Conception et réalisation de
prototypes de capteurs et
de projections de particules.
- Conception et réalisation de
prototypes de capteurs et
de projections de particules.

NIVEAUX D'INTERVENTION

TECHNOLOGIQUE

- Conception et réalisation de
prototypes de capteurs et
de projections de particules.
- Conception et réalisation de
prototypes de capteurs et
de projections de particules.

Le programme national de recherche
lié à la Compresseur industrielle à l'Etat
est financé par le Ministère de l'Industrie,
du Commerce et de l'Énergie, le
Ministère de l'Enseignement Supérieur,
de la Recherche et de l'Innovation,
le Ministère de l'Énergie, du Développement
Durable et de l'Énergie, le
Ministère de l'Économie, des
Affaires Financières et du Logement,
le Ministère de l'Équipement, du
Territoire et des Transports, le
Ministère de l'Intérieur, du
Région et de l'Énergie, le
Ministère de la Santé, de la
Solidarité et de l'Égalité des
Territoires, le Ministère de
l'Environnement, du Climat et
de la Transition Énergétique,
le Ministère de l'Énergie, du
Développement Durable et de
l'Énergie, le Ministère de
l'Économie, des Affaires
Financières et du Logement,
le Ministère de l'Équipement,
du Territoire et des
Transports, le Ministère de
l'Intérieur, du Région et de
l'Énergie, le Ministère de la
Santé, de la Solidarité et de
l'Égalité des Territoires, le
Ministère de l'Environnement,
du Climat et de la Transition
Énergétique.



JOURNÉE DE L'ICB, 2^{ème} édition

Jeudi 6 juillet 2023 s'est tenue la journée de l'ICB à la salle Multiplex sur le campus de l'Université de Bourgogne : apprendre à se connaître, partager de bons moments et développer l'esprit de corps du laboratoire ICB. Une journée très importante qui a permis de rassembler près de 160 membres du personnel des 4 sites de la région Bourgogne-Franche-Comté.

Cette année, la volonté de la direction était de mettre en avant les 5 plateformes technologiques du laboratoire. La journée a été rythmée par un temps scientifique (actualité, communication), un repas convivial et plusieurs activités extra-professionnelles (visite de la ville de Dijon, atelier Météorites, pétanque...).

Cette deuxième édition a permis de réunir les personnels du laboratoire autour de valeurs communes, une journée propice à renforcer leur sentiment d'appartenance.

À cette occasion, la direction a souhaité inviter la Déléguée Régionale centre-est du CNRS, Edwige Helmer-Laurent et le Président de l'Université de Bourgogne, Vincent Thomas pour remettre deux médailles d'honneur CNRS à Claudine Jonon et Agnès Birot distinguées pour leur carrière très fructueuse. Nous leur souhaitons une excellente et néanmoins active retraite !



FOCUS SUR : L'ASSOCIATION DES THÉSARDS DE CHIMIE ET PHYSIQUE DE BOURGOGNE (ATCPB)

Cette année, l'ATCPB a fait son grand retour.

Ses objectifs ?

Rassembler les doctorants et jeunes chercheurs de l'École doctorale Carnot-Pasteur et du Laboratoire ICB, faire connaissance, découvrir de nouveaux domaines scientifiques, entrer en contact avec des personnes du même domaine et surtout, faire des activités hors cadre du laboratoire.

Bureau.atcpb-request@u-bourgogne.fr





HRMS 2023

28^e Colloque international: High-Resolution Molecular Spectroscopy



Du 28 août au 1er septembre 2023 se tenait le 28^{ème} colloque international sur la Spectroscopie Moléculaire à Haute Résolution (28th Colloquium on High-Resolution Molecular Spectroscopy) dans le bâtiment Sciences Mirande sur le campus universitaire de Dijon. Organisé localement par le laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB) ce rendez-vous a été l'occasion pour plus de 250 spécialistes de physique moléculaire venant de plus de 25 pays du monde entier d'échanger sur les dernières avancées en matière de recherche et de technologie afin de faire progresser au mieux leurs recherches.

Cette année encore, le colloque a été l'occasion de moments de convivialité, de partages et de rencontres. En plus d'un programme scientifique de premier plan, les participants ont pu visiter le Muséoparc d'Alésia ainsi que le site des fouilles, le village de Flavigny et terminer la journée touristique au domaine de Pont-de-Pagny par un repas typique de la région.

La Ville de Dijon, représentée par la Vice-présidente de Dijon Métropole Marie-Hélène Juillard-Randrian, a eu le plaisir d'accueillir les participants du colloque international qui fait la fierté et l'attractivité de la Métropole. Après un chaleureux discours, les congressistes ont pu échanger et goûter aux spécialités bourguignonnes : Kir et gougères.

La semaine s'est finalement clôturée avec une session poster « dégustation » de produits régionaux.

ANNE L'HUILIER, LAURÉATE DU PRIX NOBEL DE PHYSIQUE 2023



© Laboratoire ICB

Le colloque HRMS a été marqué par la présence d'Anne L'huilier professeure de physique à l'Université de Lunds (Suède), lauréate du prix Nobel de physique 2023, en octobre dernier. Anne L'Huilier a captivé l'auditoire avec sa présentation sur les impulsions lumineuses attosecondes pour l'étude de la dynamique électronique ultrarapide.

EOSAM

European Optical Society Annual Meeting

11-15 September 2023
Dijon, France



EOSAM, the European Optical Society (EOS) Annual Meeting,
is a major international scientific conference and exhibition
covering all aspects of optics and photonics,
in 2023 organized together with the SFO, Société Française d'Optique



EOSAM 2023 Organized by



European Society

Conference for Europe



Société Française d'Optique

EOSAM 2023

Une conférence internationale majeure avec plus de 500 participants venant de 34 pays



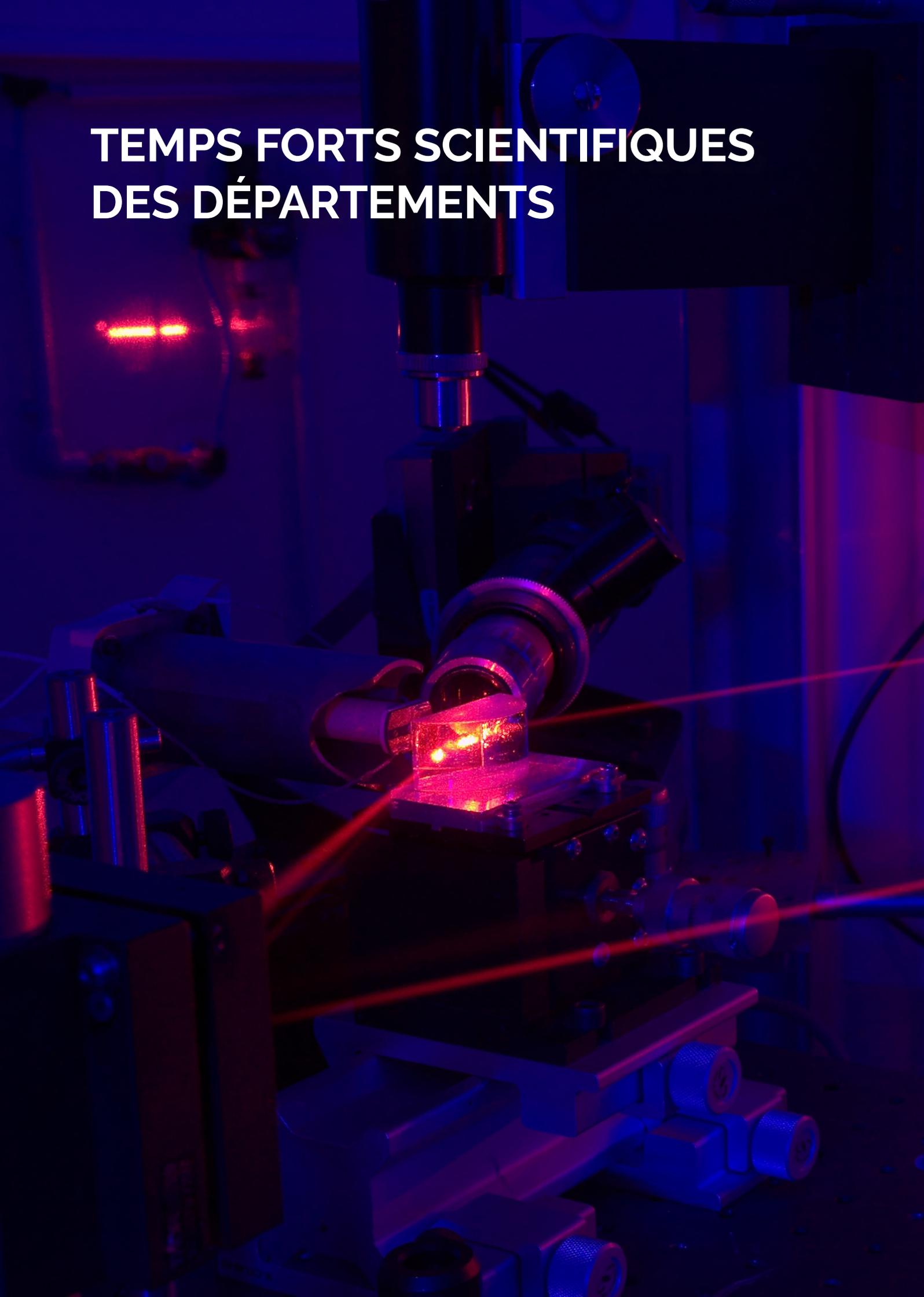
Suite au succès du colloque OPTIQUE de la société française d'optique (SFO) organisé par l'ICB en juillet 2021, la société européenne d'optique (EOS) et la SFO ont à nouveau sollicité l'ICB pour organiser le colloque annuel de l'EOS (EOSAM). Bertrand Kibler et Guy Millot ont présidé ce colloque. Après s'être déplacé dans différents centres de recherche optiques de renommée à Paris, Berlin, Rome, Porto, la 11^{ème} édition de EOSAM s'est déroulée au Palais des Congrès de Dijon du 11 au 15 septembre 2023. Plus de 500 chercheurs de haut niveau, leaders clés, étudiants et experts industriels venant de 34 pays différents ont participé.

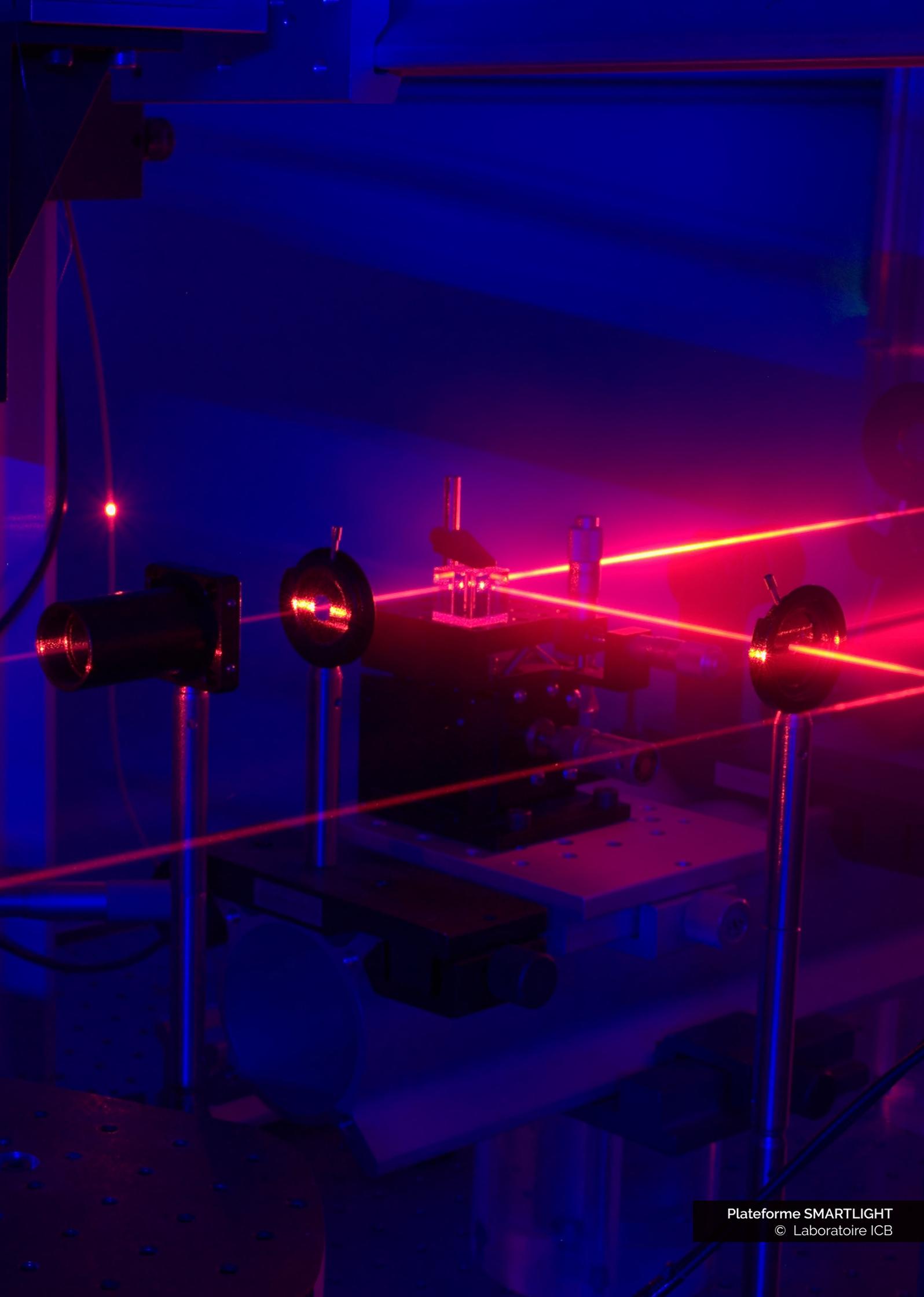
L'événement a donné une vision globale des recherches de pointe en optique/photonique, du fondamental à l'appliqué, et des développements industriels à travers plus de 420 présentations dans le cadre de 10 sessions thématiques mettant en avant les recherches les plus innovantes et émergentes : photonique silicium et optique intégrée, optique adaptative et freeform, bio-photonique, nano-photonique, matériaux optiques, optique non-linéaire et quantique, peignes de fréquence optiques, optique ultrarapide, nanotechnologies optoélectroniques et microsystèmes, applications de l'optique. Quatre sessions ciblées ont complété le panorama : fibres optiques spéciales, lumière structurée, phénomènes chiroptiques, optique et intelligence artificielle. De grandes sommités scientifiques européennes ont répondu à l'invitation pour les conférences plénières (notamment Thomas Ebbesen et Ursula Keller) et les exposés longs didactiques de type tutoriel ont apporté un volet original de mini formations.

Une session industrielle dédiée aux innovations technologiques a été complétée par un espace d'exposition pour l'industrie de la photonique au cœur du colloque (20 exposants). Une table ronde a été organisée avec le Consortium Européen de l'Industrie Photonique (EPIC), première association industrielle mondiale qui promeut le développement durable des organisations travaillant dans le domaine de la photonique en Europe. Le colloque a démontré que les recherches et les avancées technologiques liées à la lumière sont de formidables facteurs de croissance économique et d'évolution culturelle, respectueux de l'environnement.

Enfin, l'organisation de ce congrès international à Dijon représente une reconnaissance forte de l'excellence de la recherche en Optique au laboratoire ICB. Le colloque se déroulant à Dijon, les membres du laboratoire ICB ont largement profité de cette belle opportunité en se mobilisant massivement. C'est ainsi que 24 permanents, 4 post-doctorants et 12 doctorants de ICB ont participé au colloque par le biais de 45 présentations. Une vingtaine d'étudiants de nos masters en photonique des graduate schools EIPHI (Dijon-Besançon) et NANO-PHOT (Troyes) ont suivi gratuitement les tutoriels proposés.

TEMPS FORTS SCIENTIFIQUES DES DÉPARTEMENTS





DÉPARTEMENT 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) développe des nouvelles connaissances, méthodes et outils destinés aux changements de paradigmes dans la conception, le dimensionnement et la fabrication de systèmes mécaniques, mécatroniques, voire thermomécaniques complexes. Les sujets de recherche développés au sein du département concernent : la conception avancée de systèmes mécaniques, la modélisation et l'optimisation numérique en mécanique, les transferts de chaleur et couplages thermo-physiques, l'Information quantique pour l'intégration à l'échelle nanométrique des protocoles de communication quantiques et l'optimisation des procédés de fabrication. Le travail des chercheurs du département CO2M s'organise autour d'un nouvel axe de recherche transversal, en fort développement à l'échelle internationale, et dédié à la « Conception, la modélisation et l'optimisation pour la fabrication additive 3D et 4D ». Cet axe transversal traite des méthodes et outils pour une conception orientée fabrication additive 3D, de l'impression 4D à base de matériaux intelligents et de la vibro-acoustique pour la caractérisation de pièces obtenues par fabrication additive.

FAITS MARQUANTS

RENFORCEMENT SCIENTIFIQUE

Le département CO2M a cette année renforcé la cohésion de ses axes scientifiques par l'introduction d'un nouvel axe transversal : l'intelligence numérique et vision (apprentissage automatique, graphes, modélisation des connaissances). Ils viennent compléter nos techniques de raisonnement et apporter des briques de solutions pour mieux couvrir les problématiques scientifiques inscrites dans le cadre de l'industrie 4.0. Cet axe sera alimenté par six enseignants-chercheurs récemment intégrés au département dont un Maître de Conférences (Renato MARTINS) et cinq Professeurs des Universités (Hocine CHERIFI, Christophe CRUZ, Cédric DEMONCEAUX, Sebti FOUFOU et Dominique GINHAC). Ces enseignants-chercheurs sont associés aux sections CNU 27 et 61. La Fig. 1 illustre les axes historiques du département CO2M dédiés à l'approfondissement en mécanique et les axes transversaux nécessaires pour répondre aux enjeux sociétaux.

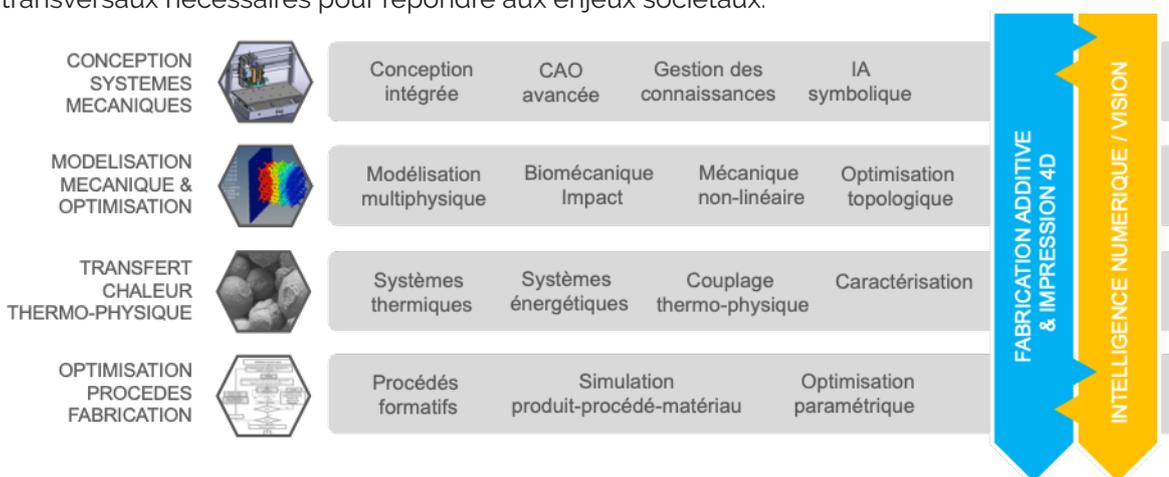


Fig. 1. Principaux axes de recherche du département CO2M et axes transversaux engagés et désirés, assurant la convergence des disciplines pour répondre aux enjeux sociétaux

L'axe transversal précurseur fabrication additive et impression 4D a également été renforcé par le recrutement d'un enseignant-chercheur contractuel, Johnny MOUGHAMES. Après une forte expérience en tant que Postdoc à FEMTO-ST sur la conception, la modélisation et la fabrication de métamatériaux et de dispositifs optiques, il apportera ses compétences pour maîtriser l'impression 4D multi-échelle et ainsi faire émerger des structures originales en termes de performances mécaniques et d'actionnement. Cet axe a permis également de recrutement d'un Professeur Junior (CPJ) pour le développement du couple procédés additifs et matériaux intelligents.

FÉDÉRATION DE RECHERCHE CHOCODYN

Le département CO2M s'est associé à la création d'une fédération de recherche sur les matériaux sous hautes vitesses de déformation avec une application aux matériaux en conditions extrêmes, procédés et structures. Née cette année, cette fédération rassemble une vingtaine de laboratoires français. Le département est notamment impliqué pour ses travaux de recherche sur la mécanique des matériaux en situation de chocs à hautes vitesses (biomécanique des chocs, caractérisation de matériaux 3D).

PROJETS DE RECHERCHE FINANCÉS

Projet ANR TSIA DEVIN – Le projet DEVIN (Drones with omni-event vision for drone neutralization) est un projet ANR Thématiques Spécifiques en Intelligence Artificielle – flottes intelligentes de robots en collaboration avec l'université Côte d'Azur et l'université de Picardie Jules Verne. Il souhaite contribuer à la neutralisation de véhicules aériens intrusifs. En effet, au cours des quinze dernières années, la popularité et l'accessibilité des véhicules aériens sans pilote ont sérieusement augmenté.



Fig. 2. Navigation d'un drone muni d'une vision sphérique

Le nombre d'incidents impliquant des drones survolant ou atterrissant sur des infrastructures critiques s'intensifie (la Maison Blanche, le bureau du Premier ministre japonais, le Golden Gate Bridge, des sites nucléaires en France, des installations pénitentiaires, etc.). Pour empêcher ces incidents, le projet DEVIN propose d'utiliser un essaim de drones autonomes munis de caméras événementielles sphériques afin de surveiller des zones précises, de détecter des objets indésirables et de les poursuivre (voir Fig. 2). Ce projet profitera des infrastructures collaboratives de l'EquipEx+ TIRREX (Technological Infrastructure for Robotics Research of Excellence) pour mener à bien les expérimentations.

Membre CO2M impliqué : Cédric DEMONCEAUX

Projet ANR PRCI EVELOC – Le projet EVELOC (Event-Based Visual Localization) est un projet ANR PRCI en collaboration avec l'université de Picardie Jules Verne et l'université technologique de Graz (Autriche). Il souhaite développer des algorithmes d'odométrie et de recalage de caméras événementielles sur des nuages de points 3D (voir Fig. 3). Les caméras événementielles sont des capteurs de vision innovants qui ne capturent que les zones en mouvement. Elles présentent quatre avantages principaux par rapport aux caméras classiques : (a) une résolution temporelle élevée (fréquence d'images élevée), (b) une faible latence, (c) une faible consommation d'énergie et (d) une plage dynamique élevée.



Fig. 3. Caméra événementielle observant une scène 3D

Toutes ces propriétés rendent ces caméras précieuses dans de nombreuses applications de vision par ordinateur et de robotique. Cependant, bien que de nombreuses méthodes développées pour les caméras standards ont été remaniées pour les caméras événementielles, il n'existe à ce jour aucun équivalent permettant la localisation visuelle et le recalage sur des nuages de points 3D avec ce type de caméras. EVELOC compte y remédier afin de localiser de manière précise et rapide un robot dans son environnement 3D.

Membre CO2M impliqué : Cédric DEMONCEAUX.

Projet ANR JCJC MANYVIS – L'extraction de descriptions visuelles qui soient invariantes à de transformations (dues par exemple à des changements d'illumination, point de vue ou déformations) est un problème essentiel dans diverses tâches de vision par ordinateur et de robotique qui impliquent notamment la compréhension de scènes. Plusieurs avancées en description ont été obtenues grâce à des techniques d'apprentissage profond, mais la majorité des approches de description existantes ne prennent pas en compte explicitement la structure des données pour mieux conditionner l'extraction de caractéristiques, c'est-à-dire la variété géométrique où est l'information visuelle, et ne considèrent pas la cohérence temporelle ni les propriétés physiques des surfaces en modélisant les vidéos uniquement au niveau d'images isolées. Le projet MANYVIS ("Learning MANifold and PhYsics-Aware Video DescriptionS") propose des stratégies d'apprentissage profond pour la mise en correspondance de données visuelles intégrant des contraintes physiques (voir Fig. 4). Un objectif central est d'améliorer l'estimation des représentations visuelles en prenant en compte des contraintes physiques spatio-temporelles existantes de la scène et des objets observées à partir de vidéos. Les méthodologies élaborées au sein de ce projet présentent un fort potentiel d'utilisation dans plusieurs applications du monde réel liées à la perception et au contrôle telles que le suivi d'objets, la surveillance ou la reconstruction 3D. Un aspect scientifique et applicatif important est de traiter explicitement la description des objets déformables.

Membre CO2M impliqué : Renato MARTINS.

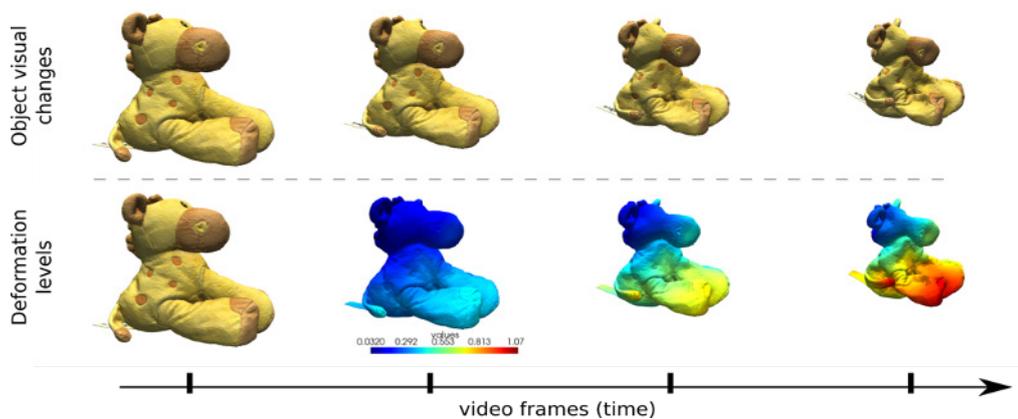


Fig. 4. Correspondance visuelle guidée par la physique de surfaces déformables.

Projet ANR PRC aiMotions – Le projet aiMotions (Artificial Intelligence for food-related eMotions analysis) est un projet ANR PRC réalisé en collaboration avec INRAE et CentraleSupélec. Le projet vise à contribuer à l'analyse automatique des émotions suscitées par l'alimentation. En effet, les émotions influencent significativement nos comportements et le comportement alimentaire n'y fait pas exception. Cependant, comprendre pourquoi et comment les émotions ont un impact positif ou négatif sur le comportement reste un vaste sujet de débat. Les liens entre l'alimentation et les états émotionnels sont interprétables à différents niveaux, allant des changements physiologiques aux changements comportementaux. Par conséquent, les analyses quantitatives et qualitatives de ces changements sont d'une importance capitale pour confirmer les conclusions des études sur les émotions en Sciences de l'Alimentation. Dans ce contexte, l'objectif scientifique d'aiMotions est de déterminer comment des aliments (images, odeurs, goût) suscitent des émotions afin de mieux comprendre les mécanismes qui sous-tendent le comportement de choix alimentaire, grâce à la collaboration de l'Intelligence artificielle, de la Vision par ordinateur, de l'Informatique affective et des Sciences de l'Alimentation. Pour réussir, aiMotions relève le défi de développer de nouveaux outils IA pour capturer les réponses émotionnelles suscitées par les aliments. aiMotions vise 3 objectifs scientifiques : (O1) publier un jeu ouvert de données multimodales de réponses émotionnelles suscitées par des images/odeurs, (O2) concevoir des outils d'IA pour l'analyse des émotions et en dériver une version légère pour ordinateur personnel, (O3) mener une série d'études innovantes en Sciences de l'alimentation en couplant ces outils avec d'autres mesures physiologiques ou comportementales afin de récolter des informations plus précises sur les émotions suscitées par les aliments (voir Fig. 5).

Membre CO2M impliqué : Dominique GINHAC (coordinateur).

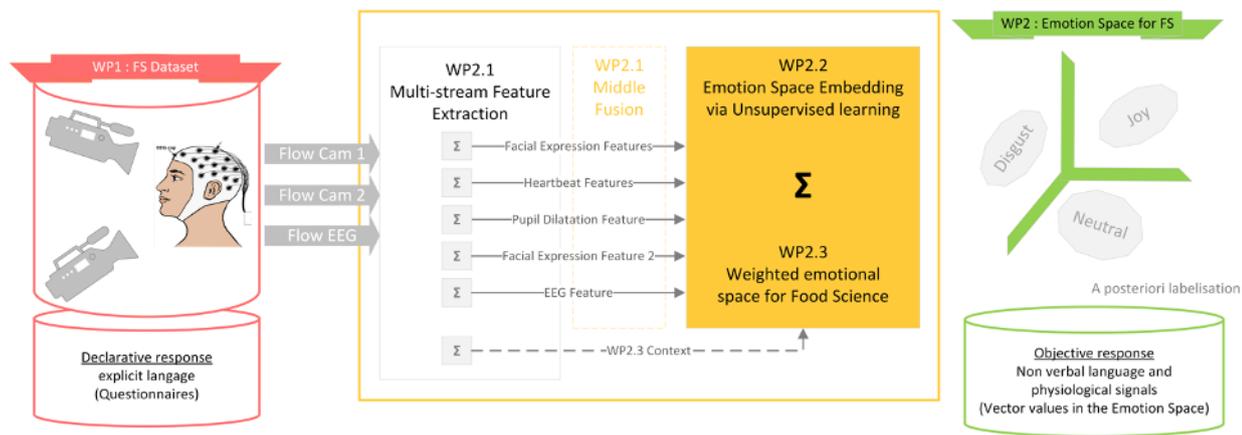


Fig. 5. De la capture des images à l'identification des émotions

Projet EUR-EIPHI BOOST-4D – L'impression 4D émergée en 2013 (> 40% de croissance/an) associe la fabrication additive avec des matériaux actifs via une stimulation énergétique (e.g. température, lumière, solvant, pH, humidité, champ électrique/magnétique, etc.). Les objets (ou structures) ainsi créés disposent de capacités de changement de propriétés et/ou de formes exploitant l'énergie dans leur environnement d'usage. Au-delà d'effets d'annonce illustrés dans la littérature scientifique, des faiblesses de performances des actionneurs 4D existent : temps de stimulation, réversibilité, répétabilité (fatigue fonctionnelle), encombrement du stimulateur artificiel, résistance mécanique, etc. Les efficacités modestes – qui limitent l'atteinte du marché – sont améliorables par une approche multi-matériaux. BOOST-4D porte sur l'agencement numérique des matériaux et des stimuli en conception pour atteindre un changement de forme souhaité et introduit la question de la maîtrise de l'optimisation topologique multi-échelle et des métamatériaux afin d'atteindre des performances maîtrisées en problèmes inverses. Un couplage avec des techniques de machine learning sera également proposé afin d'améliorer la performance des procédures de calcul. Les résultats numériques seront confrontés à des études expérimentales. Plusieurs cas d'étude seront proposés dans les domaines de la robotique souple et des technologies médicales.
Membres CO2M impliqués : Dominique CHAMORET (Coordinatrice) et Frédéric DEMOLY.

Projet PEPR DIADEM – ARTEMIS – Introduite en 2013 par le Massachusetts Institute of Technology et l'Université du Colorado (USA), l'impression 4D combine la fabrication additive et les matériaux actifs pour construire des objets physiques capables de changer de forme et/ou de propriétés en réponse à un stimulus énergétique. En ajoutant le paramètre temps dans l'espace 3D, les relations entre les besoins des applications et les moyens technologiques pour les satisfaire deviennent plus compliquées, voire complexes. Dans ce projet, le consortium national abordera différents axes de recherche, comprenant le numérique (base de connaissances et apprentissage automatique lié aux matériaux et aux structures), les matériaux et les procédés ainsi que des actions prospectives (en reliant par exemple l'impression 4D et le biomimétisme comme fil conducteur et/ou sur l'intelligence des matériaux) (voir Fig. 6). La satisfaction des besoins exprimés dans ce "saut technologique" devrait enfin être à même de faire passer le domaine de l'impression 4D d'un rôle académique à des applications industrielles.
Membres CO2M impliqués : Frédéric DEMOLY (Coordinateur), Christophe CRUZ, Johnny MOUGHAMES et Théo CALAIS.

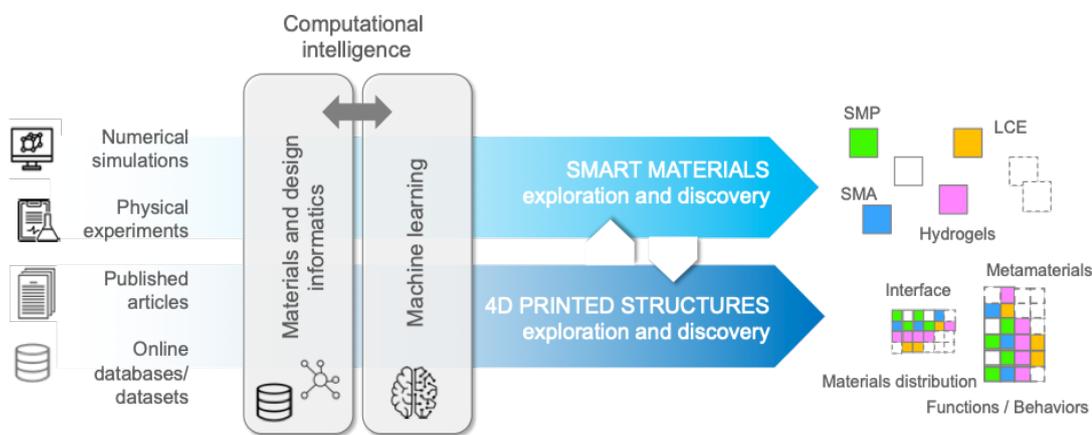


Fig. 6. Cadre méthodologique d'ARTEMIS pour l'exploration et la découverte accélérées de matériaux intelligents (hydrogels, élastomères à cristaux liquides et polymères/alliages à mémoire de forme) et de structures actives.

DÉPARTEMENT ICQ

INTERACTIONS ET CONTRÔLES QUANTIQUES

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) comprend deux groupes de théoriciens dont les sujets de recherche se concentrent sur les systèmes quantiques et leurs interactions.

Il est composé de 13 membres permanents, un professeur émérite, et un chercheur associé.

Il comprend 4 chercheurs CNRS (1 Directeur 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 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 des champs électromagnétiques, avec des applications en technologies quantiques, la nano-optique et plasmonique quantique, 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.

Les projets de recherche s'appuient sur un ensemble important de partenariats, au niveau local, régional, 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 des fibres). Nous avons aussi des collaborations sur la durée 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 régulières et des séminaires.

Au niveau régional nous avons des collaborations de longue date 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 poursuivons 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 jointes France-Allemagne.

Les partenariats internationaux hors Europe, avec l'Arménie, la Russie, la Chine, la Tunisie se concrétisent par un nombre important de collaborations scientifiques, des échanges d'étudiants et des thèses en cotutelle.

FAITS MARQUANTS



PRIX DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES, ARTS ET BELLES-LETTRES DE DIJON

Le livre « La Lumière pour Sonder le Monde – La Spectroscopie et ses Applications », par V. Boudon, A. Cuisset, C. Richard et M. Rotger, a reçu le prix 2023 de l'Académie des Sciences, Arts et Belles-Lettres de Dijon. Ce prix a été remis aux auteurs lors d'une séance solennelle à l'hôtel de ville de Dijon, Salle des États, le samedi 14 octobre 2023, en présence de François Rebsamen, Maire de Dijon et Protecteur de l'Académie. Cet ouvrage de vulgarisation, préfacé par Anne L'Huillier, prix Nobel de Physique 2023, paraîtra chez Ellipses le 23 avril 2024. Le livre a été labellisé « Année de la physique 2023-2024 » par le CNRS.

RECHERCHES SUR LES ATMOSPHÈRES DE TITAN, LA LUNE ET SATURNE, AVEC LE SYNCHROTON SOLEIL

En collaboration avec l'Université Libre de Bruxelles, le LISA et le LESIA, des chercheurs (équipe MARS) du Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB) se sont penchés sur une étude cruciale portant sur l'atmosphère de Titan, la lune de Saturne, et en particulier sur les signatures du méthane dans l'infrarouge lointain. Cette molécule revêt une importance fondamentale pour l'exploration des atmosphères planétaires, notamment pour la prochaine mission de la NASA, Dragonfly, qui prévoit l'utilisation d'un drone pour explorer Titan.

- <https://www.synchrotron-soleil.fr/fr/actualites/atmosphere-de-titan-les-signatures-du-methane-dans-linfrarouge-etudiees-sur-la-ligne>

EDITION D'UN NUMÉRO SPÉCIAL DANS LA REVUE EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL SPECIAL TOPICS

Maxence Lepers a été éditeur invité d'un numéro spécial dans la revue European Physical Journal Special Topics, consacré aux activités du GDR Thems.

- <https://link.springer.com/article/10.1140/epjs/s11734-023-00959-6>

CHAIRE DE PROFESSEUR JUNIOR DE L'UNIVERSITÉ DE BOURGOGNE

Camille Lombard Latune a été recruté en 2023 sur une Chaire de Professeur Junior de l'Université de Bourgogne. Il apporte une nouvelle expertise à l'équipe DyTeQ sur la thermodynamique quantique et les systèmes ouverts. Ses travaux récents dans ce domaine ont été affichés par Institut de Physique du CNRS (INP) <https://www.inp.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/la-thermodynamique-100-quantique> : « La thermodynamique, 100 % quantique ».

Ce travail est dédié à l'exploration de certaines applications d'un formalisme thermodynamique adapté à l'étude d'ensembles autonomes de systèmes quantiques. L'une des principales applications en vue est la conception de réfrigérateur autonome, ne nécessitant ni contrôle extérieur, ni bain thermique.

La preuve de principe d'un tel réfrigérateur quantique autonome, en cours de réalisation expérimentale à l'ENS de Lyon avec des circuits quantiques, consiste à purifier un qubit grâce à l'énergie non-thermique, associée à du travail, stoké initialement dans un mode d'une cavité résonante.

En parallèle, en collaboration avec Graeme Pleasance (postdoc à l'Université de Stellenbosch, Afrique du Sud), il a finalisé et publié un article analysant certains effets bénéfiques du couplage fort entre système et bains pour les performances d'engins quantiques (opérant suivant le cycle d'Otto).

Un travail important a été fait avec Cyril Éluard (CPJ, Université de Lorraine) sur la rédaction d'un manuscrit (en cours de finalisation) sur les ressources énergétiques nécessaires pour la réalisation d'une mesure quantique. Un des résultats principaux est d'analyser comment ces ressources dépendent des performances de la mesure souhaitée.

APPLICATION DU CONTRÔLE OPTIMAL À LA SIMULATION QUANTIQUE

Le contrôle optimal est un outil puissant pour la simulation quantique, qui permet la préparation, la manipulation et la mesure optimisées d'états quantiques. Par la variation optimale d'un paramètre de contrôle, des états cibles peuvent être préparés pour initialiser ou façonner des dynamiques quantiques spécifiques. Dans ce travail, nous nous concentrons sur le façonnage d'une évolution unitaire menant à la stabilisation stroboscopique d'états quantiques d'un condensat de Bose-Einstein dans un réseau optique. Nous montrons comment une telle évolution peut être dérivée de contrôle préparant l'état, pour des états avec des symétries d'espace et de temps, puis nous nous consacrons à l'optimisation directe d'un opérateur de Floquet stabilisant un état cible. Les optimisations numériques mettent en évidence l'existence d'une vitesse quantique limite pour cette stabilisation, et nos résultats expérimentaux montrent la stabilisation efficace d'une large gamme d'états quantiques dans le réseau.

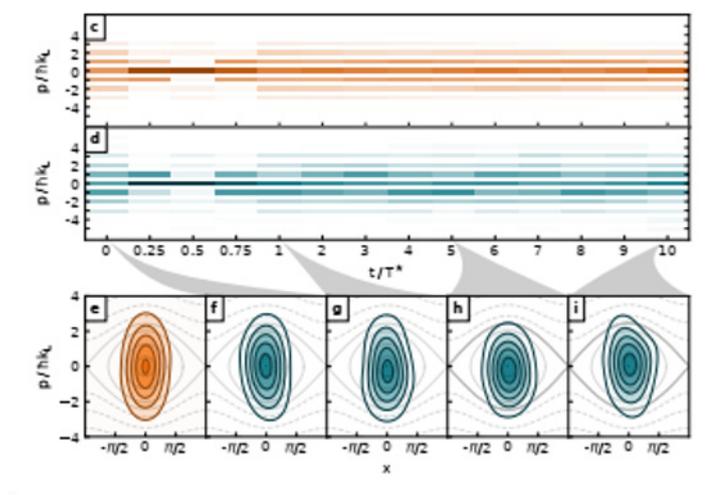


Fig. : Stabilisation stroboscopique par contrôle optimal.

Un article a été publié dans le numéro spécial des Comptes Rendus de l'Académie des Sciences (2023) en l'honneur de la médaille d'or du CNRS de J. Dalibard, Floquet operator engineering for quantum state stroboscopic stabilization, C. R. Acad. Sci. (2023).

NOUVELLES AVANCÉES THÉORIQUES EN OPTIQUE QUANTIQUE AVEC PHOTONS UNIQUES

Plusieurs nouveaux résultats ont été publiés sur la production, propagation et détection de photons uniques de photons uniques. En particulier la collaboration avec l'équipe de Axel Kuhn à l'Université de Oxford a abouti à la description et caractérisation complètes de la propagation spatiale de photons issus d'une cavité optique [Phys. Rev. Res. 5, 033056 (2023)]. Deux autres articles ont apporté des caractérisations précises des propriétés de localisation spatio-temporelle de photons uniques [J. Phys. A. 56, 235302 (2023) ; Phys. Rev. A 108, 043720 (2023)].

PRIX DE L'INNOVATION POUR LE PROJET QUANTEDU-FRANCE

Le projet QuanTEdu-France est un consortium de 21 universités françaises coordonné par l'Université Grenoble-Alpes qui a pour but de développer la formation sur les technologies quantiques en France. Il est doté d'un budget total de 56 M€ sur 5 ans (2022-27). En Bourgogne Franche-Comté, il comporte des participants de plusieurs laboratoires de l'Université de Bourgogne, de l'Université de Franche-Comté et de l'Université de Technologie de Belfort Montbéliard. Il est coordonné localement par Dominique Sugny.

Le projet QuanTEdu-France a obtenu le prix de l'innovation en décembre 2023 lors de la cérémonie des CMA Awards.

PUBLICATIONS MARQUANTES

ÉQUIPE MARS (MOLECULES, ATOMS, REACTIVITY, SCATTERING)

Analysis of high-resolution spectra of SiF₄ combination bands,

M. Merkulova, V. Boudon and L. Manceron, *Journal of Molecular Spectroscopy* 391, 111738 (2023).

The ro-vibrational n₂ mode spectrum of methane investigated by ultrabroadband coherent Raman spectroscopy, F. Mazza, O. Thornquist, L. Castellanos, T. Butterworth, C. Richard, V. Boudon, V. Boudon and A. Bohlin, *The Journal of Chemical Physics* 158, 094201 (2023).

Self and N₂ collisional broadening of far-infrared methane lines at low-temperature with application to Titan, C. Richard, V. Boudon, L. Manceron, J. Vander Auwera, S. Vinatier, B. Bézard and M. Houelle, *Icarus* 404, 115692 (2023).

High-resolution far-infrared spectroscopy and analysis of the 3 and 6 bands of chloromethane, P. Hardy, C. Richard, V. Boudon, M. V. Khan, L. Manceron and N. Dridi, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 311, 108779 (2023).

High resolution infrared spectra of neopentane: Rovibrational analysis of bands at 8.3–6.4 mm, A. Pastorek, P. Bernath and V. Boudon, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 311, 108788 (2023).

Dipole-dipole interactions in optical nanocells at thicknesses below 100 nm, Sargsyan, A., Momier, R., Leroy, C., & Sarkisyan, D., *Competing van der Waals*, *Physics Letters A* 483, 129069 (2023).

Formation of strongly shifted EIT resonances using "forbidden" transitions of Cesium.

Sargsyan, A., Tonoyan, A., Momier, R., Leroy, C., & Sarkisyan, D.,

Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer 303, 108582 (2023).

High-Energy Quantum Dynamics of the ¹⁵N + o-¹⁴N¹⁴N Rovibrational Activation and Isotope Exchange Processes, G. Guillon, M. Lepers, A. Tak, T. Rajagopala Rao, P. Honvault, *Journal of Physical Chemistry A* 127, 7344 (2023).

Van der Waals coefficients for interactions of dysprosium and erbium atoms with alkali-metal and alkaline-earth-metal atoms, K. Zaremba-Kopczyk, M. Tomza, M. Lepers. *Phys. Rev. A*, accepted (2023); <http://arxiv.org/abs/2311.17745>.

Quantum dynamics in molecular systems, L.U. Ancarani, F. Agostini, M. Lepers, *European Physical Journal Special Topics*, 232, 1843 (2023).

Extension of Judd-Ofelt theory: Application on Eu³⁺, Nd³⁺ and Er³⁺, G. Hovhannesian, V. Boudon, M. Lepers. *Journal of Luminescence*, 266, 120234 (2024).

Two-photon optical shielding of collisions - between ultracold polar molecules, C. Karam, M. Meyer zum Alten Borgloh, R. Vexiau, M. Lepers, S. Ospelkaus, N. Bouloufa-Maafa, L. Karpa, O. Dulieu. *Physical Review Research* 5, 033074 (2023).

Improving the spectroscopic knowledge of neutral Neodymium, G. Hovhannesian, M. Lepers. *Physica Scripta* 98, 025407 (2023).

Interaction of two Rydberg atoms in the vicinity of an optical nanofibre, E. Stourm, M. Lepers, J. Robert, S. Nic Chormaic, K. Molmer, E. Brion, *New Journal of Physics*, 25, 023022 (2023).

FitAik: a package to calculate least-square fitted atomic transitions probabilities, M. Lepers, O. Dulieu, J.-F. Wyart, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 297, 108470 (2023)

ÉQUIPE DYTEQ (DYNAMIQUE ET TECHNOLOGIES QUANTIQUES)

Digital robust optimal control, M. Harutyunyan, F. Holweck, D. Sugny, and S. Guérin, *Phys. Rev. Lett.* 131, 200801 (2023).

Quantum Control by Few-Cycles Pulses: The Two-Level Problem, F. Peyraut, F. Holweck, S. Guérin, *Entropy* 25, 212 (2023).

Optimal control and ultimate bounds of 1:2 nonlinear quantum systems, J.J. Zhu, K. Liu, X. Chen, S. Guérin, *Phys. Rev. A* 108, 042610 (2023).

Graph states and the variety of principal minors, F. Holweck, V. Galgano, *Annali di Matematica Pura ed Applicata*, 28, 1-23 (2023).

Propagating single photons from an open cavity: Description from universal quantization, A. Saharyan, B. Rousseaux, Z. Kis, S. Stryzhenko, S. Guérin, *Phys. Rev. Res.* 5, 033056 (2023).

Optimal pulse design for dissipative stimulated Raman exact passage, K. Liu, D. Sugny, X. Chen, S. Guérin, *Entropy* 25, 790 (2023).

Floquet operator engineering for quantum state stroboscopic stabilization, F. Arrouasa, N. Ombredanea, L. Gabardos, E. Dionis, N. Dupont, J. Billy, B. Peaudecerf, D. Sugny and D. Guéry-Odelin, *C. R. Acad. Sci.* (2023)

Complete positivity, positivity and long-time asymptotic behavior in a two-level open quantum system, G. Thérêt and D. Sugny, *Phys. Rev. A* 108, 032212 (2023).

Signatures of physical constraints in rotating rigid bodies, G. J. Gutierrez Guillen, E. A. Arroyo, P. Mardesic, D. Sugny, *J. Phys. A* 56, 295202 (2023).

Time-optimal control of two-level quantum systems by piecewise constant pulses, E. Dionis and D. Sugny, *Phys. Rev. A* 107, 032613 (2023).

Characterization of a driven two-level quantum system by Supervised Learning, R. Couturier, E. Dionis, S. Guérin, C. Guyeux, D. Sugny, *Entropy* 25, 446 (2023).

Phase-space distributions of Bose-Einstein condensates in an optical lattice: Optimal shaping and reconstruction, N. Dupont, F. Arrouas, L. Gabardos, N. Ombredane, J. Billy, B. Peaudecerf, D. Sugny, D. Guéry-Odelin, *New J. Phys.* 25, 013012 (2023).

Extending the Laws of Thermodynamics for Arbitrary Autonomous Quantum Systems, C. Elouard, C. L. Latune, *PRX Quantum* 4, 020309 (2023).

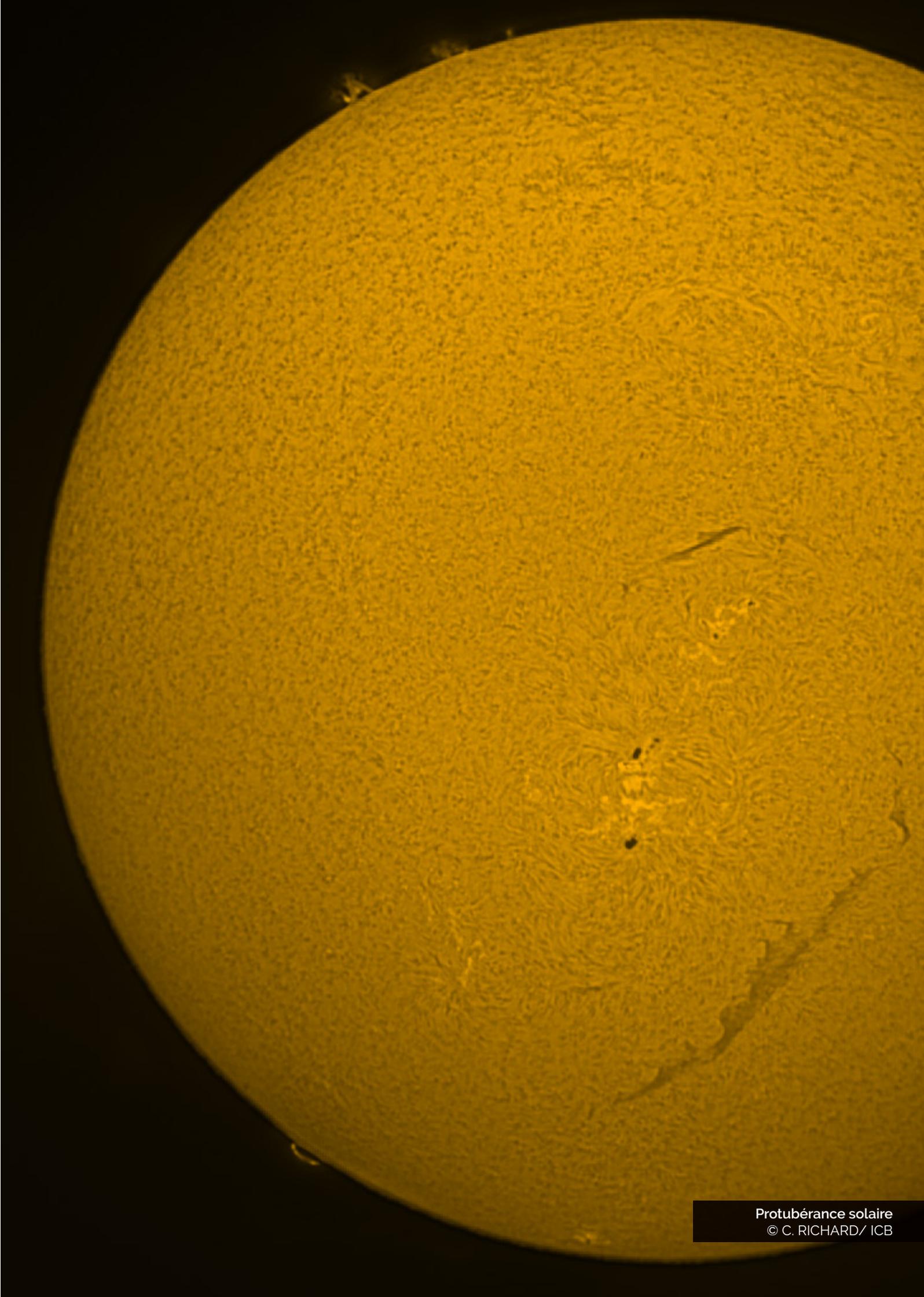
Cyclic Quantum Engines Enhanced by Strong Bath Coupling, C. L. Latune, G. Pleasance, F. Petruccione, *Phys. Rev. Appl.* 20, 024038 (2023).

On the global minimum of the energy-momentum relation for the polaron, J. Lampart, D. Mitrouskas, K. Mysliwy, *Mathematical Physics Analysis and Geometry* 26, 17 (2023).

Hamiltonians for polaron models with subcritical ultraviolet singularities, J. Lampart, *Annales Henri Poincaré* 24, 2687 (2023).

Isomorphism between the Bialynicki-Birula and the Landau-Peierls Fock space quantization of the electromagnetic field in position representation, M. Federico, H.R. Jauslin, *J. Phys. A* 56, 235302 (2023).

Nonlocality of the energy density for all single-photon states, M. Federico, H.R. Jauslin, *Phys. Rev. A* 108, 043720 (2023).



DÉPARTEMENT INTERFACES

Directeur

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

Directeur Adjoint

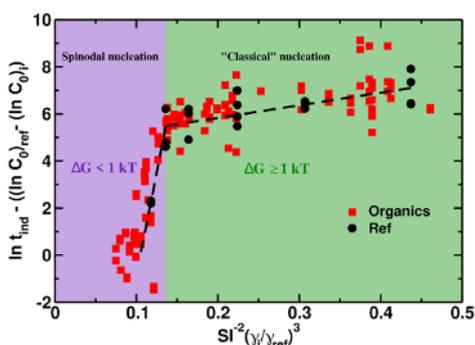
Bruno DOMENICHINI, Bruno.Domenichini@u-bourgogne.fr

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

NUCLEATION : MÉCANISME ET CINÉTIQUE DE PRÉCIPITATION DE L'HYDRATE PRINCIPAL DU CIMENT EN PRÉSENCE DE RETARDATEURS DE PRISE

L'article, publié dans CCR (IF = 11.958), met en lumière les modes d'action de molécules organiques, utilisées comme retardateurs de prise du ciment, sur la précipitation de l'hydrate principal du matériau hydraté. En outre, cette étude, qui combine théorie et expériences, a permis de mettre en évidence deux régimes de précipitation : un régime de « nucléation classique » aux faibles indices de saturation (SI) et un régime de « nucléation spinodale » aux forts SI où la barrière à la nucléation est inférieure à l'énergie cinétique (1 kT). A notre connaissance, il s'agit de la première confirmation expérimentale du régime de nucléation spinodale prédit dans les années 80 par Kurt Binder. Ce travail a été financé par le Consortium Européen NANOCEM et mené en collaboration avec l'Institut des sciences de la Terre à Grenoble et l'EMPA à Zurich.



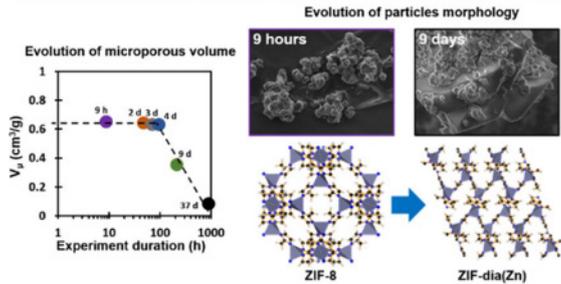
Mise en évidence du régime de nucléation spinodale à partir de la renormalisation de la cinétique de précipitation obtenue pour 5 systèmes expérimentaux différents."

- Labbez C., Bouzouaid L., Van Driessche A.E.S., Li Ling W., Martinez J.C., Lothenbach B, Fernandez-Martinez A., *Mechanisms and kinetics of C-S-H nucleation approaching the spinodal line: Insights into the role of organics additives. Cement and Concrete Research, 2023, 173, 107299, [lien](#)*

STABILITE : INTRUSION-EXTRUSION DE L'EAU À HAUTE PRESSION DANS LE MATÉRIAU MOF HYDROPHOBE DE TYPE ZIF-8

Il est démontré que ZIF-8 (un matériau important de type MOF), supposé stable dans l'eau, ne l'est pas en réalité. Si le solide reste en contact avec l'eau liquide longtemps une transformation structurale en phase dense est observée. Ce résultat signifie que la stabilité de ZIF-8 en présence de l'eau est d'origine cinétique et non pas thermodynamique.

Phase transformation of ZIF-8 under high pressure and water contact



Variation du volume poreux du MOF ZIF-8 en fonction du temps de contact avec l'eau sous pression

Astafan A., Dirand C., Ryzhikov A., Nouali H., Daou J., Marichal C., Bellat J.-P., Bezverkhy I., Chaplais G. *Intrusion of Water in ZIF-8: Evidence of the Thermodynamic Instability under High Pressure*, *Journal of Physical Chemistry C* 2023, 127, p.17249-17260. [lien](#)

ADSORPTION : INFLUENCE DU NOMBRE DES CATIONS NA+ SUR L'ADSORPTION DU TOLUÈNE PAR LES ZÉOLITHES FAUJASITES

Les résultats obtenus dans cet article sont importants pour comprendre le rôle des cations dans les processus de captage des COV nocifs comme toluène par les zéolithes. Il est démontré par la modélisation moléculaire que les interactions cation-toluène dépendent fortement de la position occupée par le cation et du nombre des cations. Cette dépendance conduit à un effet inattendu : pour certaines zéolithes, la présence d'un nombre plus faible des cations de Na⁺ permet de capter plus de molécules de toluène.

- G. C. Q. da Silva, G.C. Q., Simon J.M. and Salazar M. J. *When less is more: does more Na⁺-cations mean more adsorption sites for toluene in faujasites?* *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2023, 25, 8028, [lien](#)

FAITS MARQUANTS

PROGRAMME D'EXCELLENCE MARIE-CURIE DOCTORAL NETWORK

L'industrie du ciment génère 8 % des gaz à effet de serre (GES) à l'échelle mondiale, soit plus que tous les pays européens réunis ! Le recyclage des bétons et la valorisation du CO₂ par la carbonatation des fines ainsi produites sont des voies prometteuses pour réduire l'empreinte carbone de ce secteur industriel. Cependant des défis scientifiques et techniques restent à surmonter avant leur déploiement à grande échelle. Le projet CONTRABASS, financé par la commission européenne au travers du programme d'excellence Marie-Curie Doctoral Network sur la période 2024-2028, vise à relever ces défis. Le groupe PCMC2/CNRS (C. Labbez, S. Gauffinet, A-C. Guillet) au côté de 17 partenaires Européens dont 5 Entreprises (HOLCIM, SIKA AG, Heidelberg Materials, CHRYSO, TITAN) est bénéficiaire d'un projet doctoral portant sur la carbonatation de la phase hydratée principale du ciment et en charge de l'animation du work-package portant sur la carbonatation des fines de ciment issues du recyclage des bétons.



PRÉSIDENCE IEEE SENSORS FRANCE : J ROSSIGNOL (MARS 2023- MARS 2025)

IEEE Sensors Council Autumn School on:
XI Franco-Spanish Workshop IBERNAM-CMC2
"Sensor Technologies Contributing to the achievement of the SDGs"
November 9-10, 2023
Chairs: M^{re} Pilar Pina, Eduard Llobet, Carlos Ruiz Zamarreño and Jerome Rossignol
Conference Room, I+D Building, Campus Río Ebro, Universidad de Zaragoza (Spain)

Logos: CMC2, IEEE Sensors Council FRANCE CHAPTER, IBERNAM, IEEE Sensors Council & SPAIN SECTION JOINT CHAPTER, Universidad Zaragoza, INMA, CSIC, IEEE.

Outre les vidéos sur la [chaîne youtube](#) IEEE SENSORS FRANCE,, un premier workshop IEEE SENSORS binationale a eu lieu entre le 9 et 10 novembre dernier.

THÈSES SOUTENUES

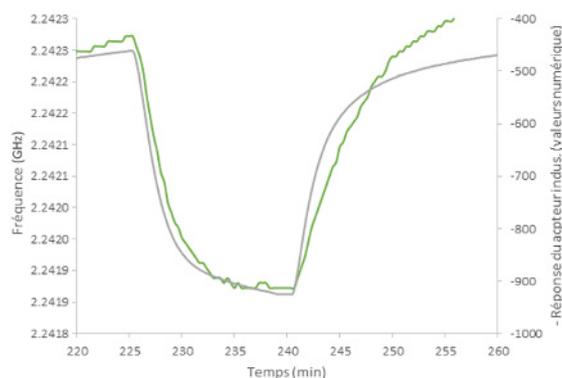
THÈSE DE LUDMILLA GRZELAK, 12 JUILLET 2023 – RECHERCHE DE LA SÉLECTIVITÉ PAR MACHINE LEARNING

L'objectif de cette thèse (CIFRE) était d'utiliser la machine learning pour optimiser la sélectivité d'un capteur de gaz modèle ou d'une matrice de capteurs commerciaux. On associe des capteurs multivariables à des algorithmes. L'influence du type de profil de concentration sur la qualité de l'apprentissage a été étudiée. Nous avons privilégié les profils de concentration permettant une meilleure distribution des données et surtout plus réaliste. Le résultat majeur est le suivi de concentrations d'ammoniac dans l'air sec à l'aide d'un capteur microondes associé à un perceptron multicouche et de dissocier l'ammoniac du méthane et du butane dans l'air humide à l'aide de ce même type de modèle et des capteurs commerciaux sélectionnés.

THÈSE DE MOAD BOUZID, 13 JUILLET 2023 – COLLABORATION AVEC L'ICMUB

Ce travail traitait de l'assemblage de films minces de divers cristaux de diamantoïdes fonctionnalisés, notamment, avec de l'or. Un résultat principal concerne l'action de l'or sur l'oxyde de phosphine présent à la surface de cristaux de phosphine-diamantanol. Dans ce cas, l'action de déposer de l'or sous une atmosphère d'hydrogène conduit à la réduction de l'oxyde de phosphine et à l'apparition d'une interaction directe entre les atomes de phosphore et d'or qui se traduit par un enrichissement en électron de l'or. Le film métallique se présente alors sous la forme d'un film continu monoatomique qui inhibe le vieillissement du cœur du matériau et confère au système des capacités intéressantes en tant que capteur d'ammoniac (NH_3). En effet, au-delà de son excellente durabilité, le système présente une réponse relative de 150% à 30 ppm d' NH_3 , une limite de détection de l'ordre de 6 ppm à température ambiante et à 45% d'humidité relative ainsi qu'une très bonne reproductibilité. Une caractéristique originale relative à l'ensemble de ce travail est l'utilisation systématique de la photoémission pour analyser les réactions chimiques impliquées à la surface des films de diamantoïdes.

THÈSE D'ALEXIS LASSERRE, 29 SEPTEMBRE 2023 – COMPRÉHENSION ET SUIVI DES PROCESSUS PHYSICO-CHIMIQUES AUX INTERFACES D'UN CAPTEUR DE GAZ MICROONDES



comparaison des réponses d'un capteur commercial et d'un capteur microondes vis à vis de 100 ppm d'ammoniac dans de l'air à 25% RH.

Cette thèse a analysé les deux modes de fonctionnement (fréquentiel et amplitude) d'un résonateur hyperfréquence perturbé par l'adsorption d'espèces gazeuses comme l'ammoniac et l'eau. Ce travail a prouvé que le mode de fonctionnement fréquentiel pouvait conduire à une proportionnalité directe entre teneur en espèce gazeuse dans l'atmosphère et la réponse du capteur. Un nouveau mode de fonctionnement dit dissipatif, parfaitement adapté aux polymères conducteurs a été proposé. L'influence de la surface spécifique apparaît comme majeure dans la capacité de détection des matériaux sensibles type oxydes. Un des résultats majeurs est la détection d'ammoniac (10 à 400 ppm) en présence d'eau (traces à 35% d'hydrométrie) mais aussi de COV (méthane et butane). L'eau est l'interfèrent principal des conditions réelles.

THÈSES EN COURS

THÈSE DE QUENTIN BERGER

La thèse est financée par l'ANR dans le cadre du projet X-ART (Xenon-ARgon Technology for Astroparticle Physics and Medical Applications, coord. Davide Franco, Laboratoire AstroParticule et Cosmologie, Paris). Le but du projet est de développer un nouveau détecteur de particules à hautes énergies (en particulier de matière noire) qui s'appuie sur les propriétés de scintillation exacerbées des bains liquides d'argon dopés par du xénon.

La thèse a démarré en octobre 2023, elle a pour objectif principal de déterminer par simulation moléculaire le diagramme de phase du mélange Ar-Xe (Ar rich) en particulier de définir les conditions expérimentales pour maintenir le mélange liquide. Elle est co-dirigée par Jean-Marc Simon et Céline Houriez (Centre de Thermodynamique des Procédés de l'école des mines de Paris). Ce travail est fait en collaboration avec des collègues de l'école des mines de Paris qui étudient le même système par des méthodes expérimentales.

THÈSE DE MAYLIS GEORGELIN

L'équipe ASP est impliquée dans une nouvelle thèse (depuis le 2/11/23) financée par le centre CEA de Valduc consacrée à l'étude de séparation D₂/H₂ par des solides poreux de type MOF. La thèse réalisée par Maylis Georgelin est portée par ESCPI de Paris (directeur de thèse - C. Serre). Les mesures de sélectivité D₂/H₂ à des températures cryogéniques seront réalisées à l'équipe ASP.

THÈSE DE SAÏDA MTAKHAM, DÉBUTÉE EN JANVIER 2023.

Ce travail s'inscrit ainsi dans le contexte de la transition énergétique et notamment de la production d'hydrogène décarboné par photoélectrolyse de l'eau. Il porte plus précisément sur l'étude de la réactivité du composé ferroélectrique BaTiO₃ couplé, au sein d'une hétérojonction, à la maghémite γ -Fe₂O₃, afin d'atteindre une plus grande efficacité pour la production de H₂. Le but est notamment d'étudier les processus qui se produisent à l'interface entre l'eau et les films d'oxyde métallique mais aussi à l'interface entre les deux oxydes. Ce travail est mené à partir de calculs périodiques ab-initio (DFT) complétés par une étude expérimentale mettant à profit les divers aspects de la photoémission (XPS, HaXPES, NAP-PES, etc.).

THÈSE DE LÉO SIMON, DÉBUTÉE EN NOVEMBRE 2023

Capteurs microondes et Processus aux Interfaces. Le matériau sensible des capteurs développé par l'équipe est constitué d'un dépôt de nanomatériaux. Une analyse des effets jumelés de la composition, des phases cristallographiques, des distributions en tailles et des morphologies des nanocristaux implique la synthèse de ces composés à une échelle compatible avec des essais multiples de capteurs (centaine de grammes). L'objectif est d'étudier les capacités diélectriques des structures pérovskites hautement substituées. Les composés produits devront être caractérisés par les techniques classiques du laboratoire, à savoir MEB, MET, DRX, ATG en particulier. Dans un second temps, un protocole de dépôt de type coulage devra être mis en place pour garantir l'obtention de dépôts caractérisés par des surfaces spécifiques contrôlables sans impliquer obligatoirement de post-traitement thermique. Outre la définition d'un protocole de dépôt, la caractérisation du dépôt au sens large (épaisseur, surface spécifique, état de surface) fera l'objet d'une attention particulière pour définir des critères de comparaison entre les différentes compositions retenues

THÈSE DE TANYA MREYDE, DÉBUTÉE EN FÉVRIER 2023

Avec la participation de Igor Bezverkhy, la thèse a débuté dans le cadre du projet ANR APRICOT en février 2023. Le projet est porté par Gilles Berhault (IRCE Lyon). Il est consacré à la préparation de nouveaux composites à base de TiO₂ actifs en photocatalyse pour la synthèse d'hydrogène. La doctorante Tanya Mreyde passera une partie de sa thèse à ICB pour caractériser les matériaux

THÈSE DE GUILLEM VILAR SOLER

Ces travaux concernent le développement de micro-capteurs chimiques performants pour lutter contre l'exposition à des contaminants invisibles et souvent inodores. Afin d'identifier la présence de faibles concentrations de contaminants, ce projet vise à élaborer un dispositif de détection miniaturisé de type nez électronique pour suivre les changements de compositions chimiques de l'air intérieur. La conception de ces micro-capteurs fera appel à un procédé innovant de codéposition sous vide pour produire des couches sensibles nanostructurées à double oxyde métallique de type Janus. La morphologie, la composition chimique de surface et les propriétés semi-conductrices de ces couches minces seront déterminantes lors de leurs interactions avec les composés chimiques en phase gazeuse.

Cette thèse a débuté en octobre 2023, dans le cadre du projet JANITOR (financement EUR-BFC). Elle est co-dirigée par Jean-Baptiste Sanchez (FEMTO-ST) et Valérie Potin.

POST DOC

AMIT SAHU A POURSUIVI SES RECHERCHES DÉBUTÉES VIA L'ANR OPTYMAL, PAR UN CONTRAT DE CHERCHEUR CDD AU CNRS (01/09 – 31/12 2023).

Parmi ses travaux, il faut souligner un article dans J. Phys. Chem. C ([lien](#)) à propos de l'utilisation de la photoémission pour suivre la transition paraélectrique/ferroélectrique de diverses pérovskites, notamment le titanate de baryum (BaTiO₃). Ces travaux ont été menés à partir de calculs DFT et par photoémission initiée par le rayonnement synchrotron, en collaboration avec le synchrotron ASTRID 2 à Aarhus (DK) et le CEA Saclay. Si la partie expérimentale n'a été menée que sur BaTiO₃, les calculs ont montré que l'approche est généralisable à d'autres composés de types titanates ferroélectriques

DÉPARTEMENT NANOSCIENCES

Directeur

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

Directeur Adjoint

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

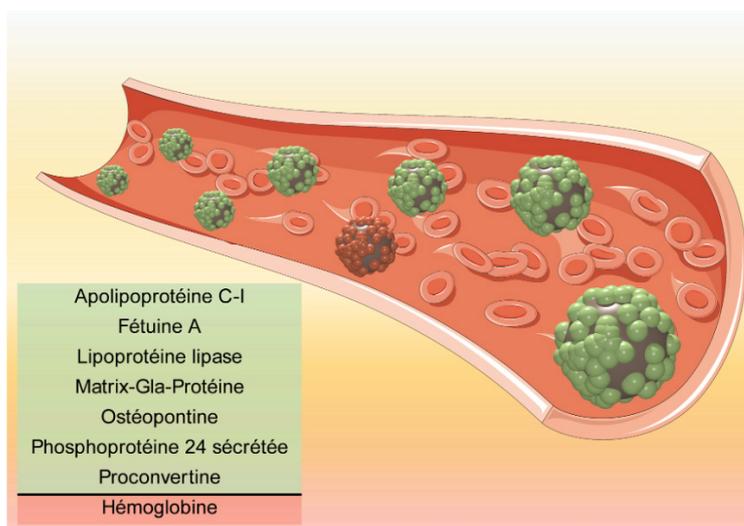
Le Département Nanosciences vise à accéder et agir à l'échelle nanométrique afin de modéliser, cibler, détecter et comprendre les mécanismes sous-jacents à l'origine de la réponse macroscopique. Pour cela, il imagine et invente des nanomatériaux capables de répondre à l'échelle nanométrique à un stimulus externe (électrique, magnétique, optique, chimique) ainsi que des nanocapteurs et des outils de nanocaractérisation extrêmement sensibles. Ces innovations sont essentielles à la résolution de nombreux problèmes sociétaux dans les domaines de la santé, de l'environnement ou de l'agroalimentaire.

Le département Nanosciences est fortement interdisciplinaire et possède des compétences en chimie, physico-chimie, physique, biophysique, science des matériaux et simulation numérique. Il réunit une vingtaine de physiciens et chimistes et collabore avec des industriels, des partenaires non-académiques (CHU, CGFL, INRAE, INSERM) ainsi que de nombreux partenaires académiques régionaux (FEMTO-ST, ICMUB, Institut Agro Dijon) et internationaux aux USA, Japon, et en Europe.

FAITS MARQUANTS

LES PROTÉINES QUI INFLUENCENT LE TEMPS DE CIRCULATION SANGUINE DES NANOPARTICULES ONT ÉTÉ IDENTIFIÉES

Les nanoparticules utilisées en médecine voient leur efficacité modifiée par l'adsorption incontrôlée des protéines des fluides biologiques qu'elles rencontrent. Des scientifiques ont analysé et sélectionné, in vivo, un cocktail de telles protéines influençant la biocirculation de ces nanoparticules, pour à terme améliorer l'efficacité des traitements médicaux les utilisant.

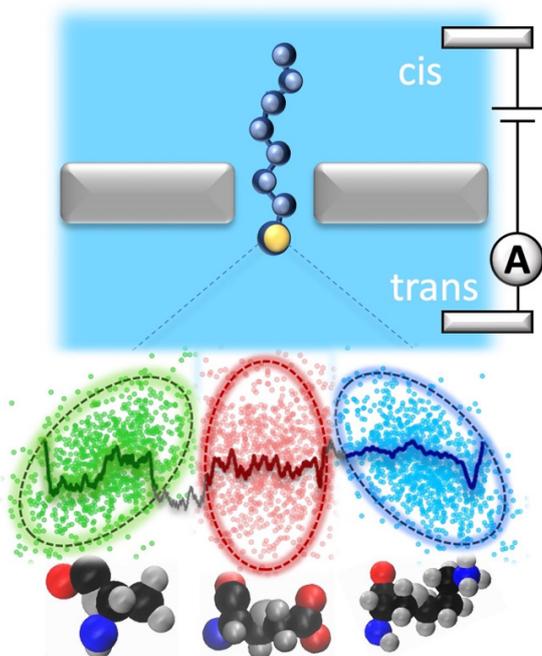


Identification of the Proteins Determining the Blood Circulation Time of Nanoparticles, Cintia Marques, Mohammad Javad Hajipour, Célia Marets, Alexandra Oudot, Reihaneh Safavi-sohi, Mélanie Guillemain, Gerrit Borchard, Olivier Jordan, Lucien Saviot, et Lionel Maurizi, ACS Nano, publié le 28 juin 2023.

• <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsnano.3c02041> Archives ouvertes : <https://hal.science/hal-04145071>

Sept protéines (en vert) augmentent le temps de circulation sanguine des NPs et une la diminue (en rouge) (copyrights Maurizi et al. et Servier Medical Art, provided by Servier, licensed under a Creative Commons Attribution 3.0 unported license)

NANO-SÉQUENCEUR DE PROTÉINES ASSISTÉ PAR INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

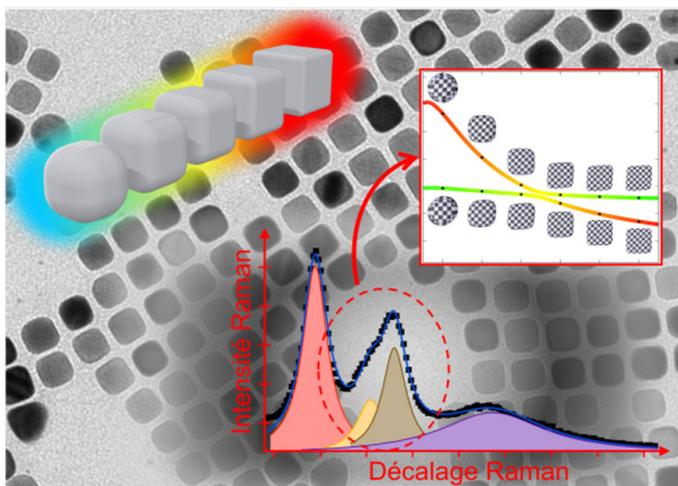


Les protéines sont essentielles comme marqueurs biologiques pour la détection précoce des maladies et, ces dernières années, le séquençage de biomarqueurs par nanopores solides est devenu une technique très prometteuse pour la détection. Dans notre étude, nous avons réalisé des simulations de dynamique moléculaire à grande échelle pour étudier le passage de chacun des 20 acides aminés naturels composant les protéines au travers de nanopores MoS₂. Grâce à des techniques d'apprentissage non supervisé, nous avons démontré que les acides aminés chargés présentaient des empreintes caractéristiques très distinctes, permettant leur distinction visuelle par rapport aux acides aminés neutres. De plus, nous avons démontré comme preuve de concept que cette information permettrait à terme d'identifier les protéines en utilisant une technique de séquençage à gros grains, basée sur trois catégories d'acides aminés selon leur charge. Cette technique bio-informatique a été testée sur une base de données de séquences de plus de 13 000 protéines de tailles et familles hétérogènes.

Single-layer MoS₂ solid-state nanopores for coarse-grained sequencing of proteins, A. Urquiola Hernández, P. Delarue, C. Guyeux, A. Nicolai, P. Senet (2023) *Front. Nanotechnol.* 5:1296454.

• <https://doi.org/10.3389/fnano.2023.1296454>

LA SYMPHONIE VIBRATOIRE DES NANOCUBES D'ARGENT : UNE RÉVÉLATION CLÉ POUR LA SYNTHÈSE OPTIMISÉE



L'étude menée par une équipe du laboratoire MONARIS en collaboration avec le laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB), et récemment publiée dans *ACS Nano*, se concentre sur l'analyse de la réponse optique et des vibrations acoustiques de nanocubes d'argent. Ces nanocubes, peu explorés dans la littérature scientifique, sont des objets nanostructurés dont la forme subtile des arêtes et des sommets a un impact significatif sur leur résonance LSPR (Localized Surface Plasmon Resonance) et leurs modes de vibration.

Sensitivity of Localized Surface Plasmon Resonance and Acoustic Vibrations to Edge Rounding in Silver Nanocubes, C. Vernier, L. Saviot, Y. Fan, A. Courty, H. Portalès, *ACS Nano* 2023

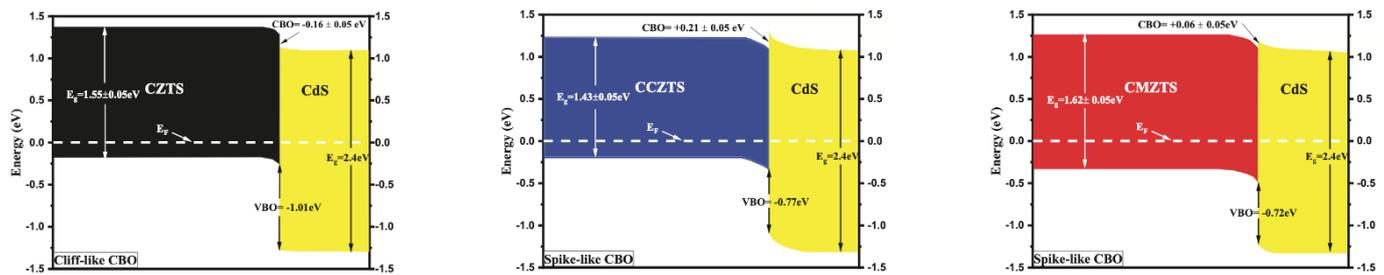
• <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsnano.3c06990>

Lire l'article de l'INC-CNRS:

• <https://www.inc.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/des-vibrations-lorigine-de-larrondi-des-aretes-de-nanocubes-dargent>

AMÉLIORATION DE L'INGÉNIERIE DE L'HÉTÉRO-INTERFACE PAR SUBSTITUTION PARTIELLE DE ZN DANS LES CELLULES SOLAIRES À BASE DE $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$

Cet article étudie les effets de la substitution partielle du zinc (Zn) dans la kesterite sulfurée pure ($\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$) par l'incorporation de cadmium (Cd) et de manganèse (Mn). Des films minces de $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ (CZTS), $\text{Cu}_2\text{Zn}_{1-x}\text{Cd}_x\text{SnS}_4$ (CCZTS) et $\text{Cu}_2\text{Zn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{SnS}_4$ (CMZTS) ont été produits chimiquement. Une comparaison du CZTS pur avec le CCZTS et le CMZTS a été effectuée pour étudier l'influence de l'incorporation de Cd et de Mn sur la morphologie, la structure, les propriétés optiques et électroniques des films. Les résultats montrent une amélioration de la morphologie et un ajustement de la position de la bande interdite et de la bande de valence par la substitution partielle du Zn par le Cd et le Mn. En outre, pour la première fois, l'alignement des bandes à l'hétérointerface absorbeur/tampon est étudié avec une substitution partielle de Zn. Les alignements de bandes à l'hétéro-interface absorbeur/tampon ont été estimés par XPS et par des mesures UV/Visible. Les résultats montrent un CBO en forme de falaise pour l'hétérojonction CZTS/CdS, un CBO en forme de pointe pour CCZTS/CdS et un CBO à bande presque plate pour l'hétérojonction CMZTS/CdS.



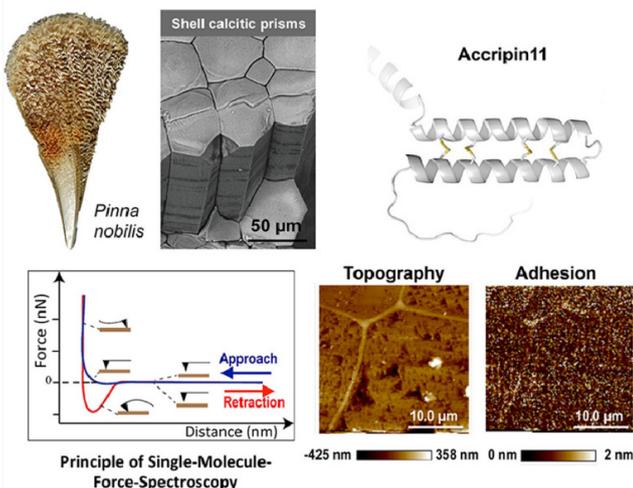
Improvement of hetero-interface engineering by partial substitution of Zn in $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ -based solar cells, Charif Tamin, Denis Chaumont, Olivier Heintz, Aymeric Leray and Mohamed Adnane, EPJ Photovoltaics 13, 24 (2022)

• <https://doi.org/10.1051/epjpv/2022022>

CARTOGRAPHIE IN SITU DES PROTÉINES SQUELETTIQUES BIOMINÉRALES PAR IMAGERIE DE RECONNAISSANCE MOLÉCULAIRE AVEC DES POINTES AFM FONCTIONNALISÉES PAR DES ANTICORPS

La localisation spatiale des protéines squelettiques dans les minéraux biogéniques reste un défi dans la recherche sur la biominéralisation. Nous avons appliqué cette approche à une protéine soluble de la coquille - l'accriline11 - récemment identifiée comme un composant majeur des prismes calcitiques de la moule en éventail *Pinna nobilis*. À notre connaissance, c'est la première fois qu'une protéine est localisée par microscopie à force atomique à reconnaissance moléculaire avec des pointes fonctionnalisées par des anticorps dans un minéral biogénique. Pour atteindre cet objectif, nous avons développé une nouvelle technique de cartographie in situ basée sur des mesures de reconnaissance moléculaire via microscopie à force atomique (AFM), qui nécessite trois étapes : (1) le développement et la purification d'un anticorps polyclonal provoqué contre la protéine cible, (2) son couplage covalent à une pointe AFM en nitrure de silicium (« fonctionnalisation »), et (3) le balayage d'une surface biominérale préparée de manière appropriée.

Mapping of a shell protein by AFM with antibody-functionalized tip

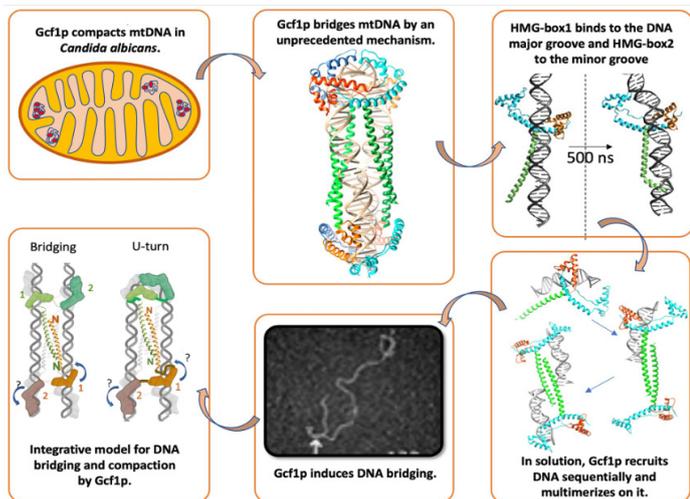


In situ mapping of biomineral skeletal proteins by molecular recognition imaging with antibody-functionalized AFM tips

Benazir Khurshid, Eric Lesniewska, Luca Polacchi, Maëva L'Héronde, Daniel J. Jackson, Sébastien Motreuil, Jérôme Thomas, Jean-François Bardeau, Stephan E. Wolf, Daniel Vielzeuf, Jonathan Perrin, Frédéric Marin.

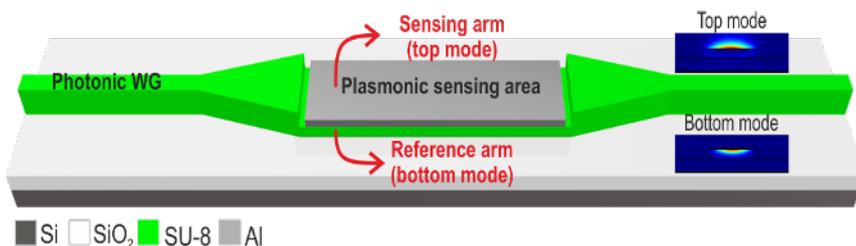
ANALYSE STRUCTURALE DU FACTEUR DE MAINTENANCE DE L'ADN MITOCHONDRIAL DE CANDIDA ALBICANS, GCF1P, RÉVÈLE UN MÉCANISME DYNAMIQUE DE PONTAGE DE L'ADN

Le compactage de l'ADN mitochondrial (ADNmt) est régulé par des protéines architecturales HMG-box dont la similarité limitée entre espèces suggère divers mécanismes sous-jacents. La viabilité de *Candida albicans*, un agent pathogène des muqueuses humaines résistantes aux antibiotiques, est compromise par la modification des régulateurs de l'ADNmt. De plus, un domaine de boîte HMG lie canoniquement le sillon mineur et plie considérablement l'ADN tandis que, sans précédent, une seconde boîte HMG lie le sillon majeur sans imposer de distorsions. Cette protéine architecturale utilise ainsi ses multiples domaines pour relier les segments d'ADN co-alignés sans altérer la topologie de l'ADN, révélant ainsi un nouveau mécanisme de condensation de l'ADNmt.



Tarrés-Solé, A.; Battistini, F.; Gerhold, J. M.; Pièrrement, O.; Martínez-García, B.; Ruiz-López, E.; Lyonnais, S.; Bernadó, P.; Roca, J.; Orozco, M.; Le Cam, E.; Sedman, J.; Solà, M. *Structural Analysis of the Candida Albicans Mitochondrial DNA Maintenance Factor Gcf1p Reveals a Dynamic DNA-Bridging Mechanism.* *Nucleic Acids Res.* 2023, 51 (11), 5864–5882.
 • <https://doi.org/10.1093/nar/gkad397>

CAPTEUR D'INDICE DE RÉFRACTION PLASMO-PHOTONIQUE BIMODAL HAUTE SENSIBILITÉ



Un biocapteur ultra-sensible et ultra-compact basé sur une technologie plasmo-photonique a été développé sur la base de procédés de fabrication et de matériaux à coûts réduits par rapport à d'autres technologies : de la résine SU-8 constituant les guides photoniques et de l'aluminium pour la partie plasmonique nécessaire à la détection, le tout sur substrat silicium/silice. La structure de ce biocapteur est un interféromètre de Mach-Zehnder dont les 2 branches sont positionnées l'une au-dessus de l'autre pour plus de compacité. Son efficacité a été démontrée avec l'air ou l'eau comme milieu de détection. Ce travail ouvre la voie au développement d'un instrument portable permettant la détection rapide de multiples contaminants simultanément (dans le cadre d'une production agricole par exemple). Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet européen GRACED.

A High-Sensitivity Bi-modal Plasmo-photonic Refractive Index Sensor
ACS Photonics 2023, 10, 2580-2588, Konstantinos Fotiadis*, Evangelia Chatzianagnostou, Dimosthenis Spasopoulos, Stelios Simos, Dimitris V. Bellas, Omkar Bhalerao, Stephan Suckow, Anna Lena Schall-Giesecke, Max Lemme, Jean-Claude Weeber, Pratyusha Das, Laurent Markey, Eleftherios Lidorikis, and Nikos Pleros
 • <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsp Photonics.3c00290>

PROJETS ET PARTENARIATS

PROJETS OBTENUS OU EN COURS EN 2023

- « Élaboration et organisation de nanocristaux plasmoniques pour la détection énantio-sélective », ANR PRC (2022-2025)
- « Approches interdisciplinaires des processus oncogéniques et perspectives thérapeutiques », financement INSERM
- « Synthèse de nanoparticules hybrides magnétiques et plasmoniques pour l'identification de pathologies », France Relance 2030
- « Approche Multi-échelle de l'Adhésion pendant la Compression Pharmaceutique », ANR PRC (2023-2027)
- « Délocalisation des excitons à Transfert de Charge dans les hétéro-nanostructures 2D colloïdales », ANR PRC (2023-2027)
- « Micro-Nablorona: "Bio-dispositif micro-fluidique pour la compréhension et le contrôle des interactions sanguines des nanoparticules": EUR Région BFC (2023-2026) avec FEMTO-ST
- « Synthèse de nanohybrides capables de cibler les mitochondries maintenant l'équilibre oxydatif neuronal », CNRS MITI (2023-2026)
- « Future of plant-based food: Bridging the gap of new proteins and FLAVOURSOME », COST CA22161 (2023-2027)
- Projet SYNTHESYME (EUR EIPHI) : Construction de novo d'une enzyme synthétique permettant d'éliminer des polluants alimentaires et non alimentaires. Collaboration ICB/CSGA, groupe de F. Neiers
- BQR-UB : 5000 € pour le projet intitulé : CONTRAST : Vers des Cellules solaires tandem basées sur des matériaux inorganiques abondants et éco-compatibles.
- BQR-ICB : 4000 € pour le projet SISCA-PV : Simulateur Solaire pour la Caractérisation de cellules Photovoltaïques kesterite
- INTERPROT: « Des interactions plantes-microbes aux interactions moléculaires : dynamique intracellulaire de l'homéostasie des protéines ». EUR Région BFC (2023-2026) avec INRAE

PARTENARIATS CRÉÉS EN 2023

- Entrée dans le réseau Européen COST_RENEW-PV (Research and International Networking on Emerging Inorganic Chalcogenides for Photovoltaics)
- Collaboration avec le National Institute of Materials Physics, Ilfov, Romania (Pr Aurelian Catalin Galca), Mise en place échange dans le cadre BOURSES DE DOCTORAT ET DE POSTDOCTORAT « EUGEN IONESCU » 2023-2024.

NOUVEAUX DOCTORANTS

- BEN ELKADHI Dorra, doctorante CNRS
- DESCOURS Pierre-Louis, doctorant CNRS
- ESPADAS Aurora, doctorante UBFC avec l'Insitut Femto-ST
- PETIOT Nicolas, doctorant UBFC
- LIU Leya, doctorante UBFC



DÉPARTEMENT 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 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 impulsions, 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)

Maîtriser le couplage entre un système quantique et son environnement constitue l'un des challenges de la troisième révolution quantique. Depuis quelques années, l'équipe Processus Femtosecondes & Lasers intenses étudie la décohérence de rotors moléculaires exposés à des collisions. En 2023, ses membres ont réussi à mesurer (en sondant les systèmes quelques picosecondes après leur initialisation) des processus de décohérence non markoviens, effets jusqu'alors observés essentiellement dans le domaine fréquentiel.

Différentes molécules ont été traitées de manière à mettre en évidence 4 régimes de décohérence selon que les approximations séculaire et/ou markovienne sont vérifiées dans la limite de résolution ou non. A titre d'exemple, la Figure 1 présente la constante de temps de relaxation de l'alignement des molécules HCl induit par collisions. On constate que cette « constante » augmente avec le temps pour atteindre un plateau au bout de quelques dizaines de picosecondes. Ce phénomène, bien reproduit par le modèle théorique, est dû aux collisions non markoviennes qui tendent à augmenter la vitesse de relaxation des cohérences aux temps courts¹.

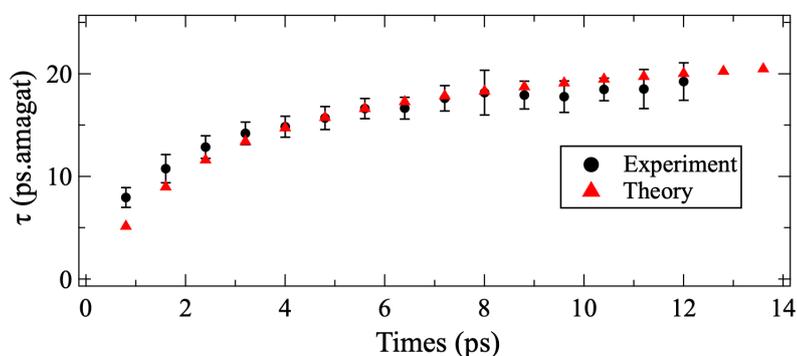


Figure 1 : Constante de temps de relaxation collisionnelle

Dans le même domaine, nous avons proposé une stratégie d'optimisation basée sur la mise en forme d'impulsions femtosecondes pilotée par un algorithme d'évolution² (Figure 2). La méthode, permettant d'améliorer la précision des mesures spectroscopiques basées sur les échos d'alignement moléculaire, pourra être appliquée à l'étude de la dynamique de relaxation de rotors moléculaires complexes.

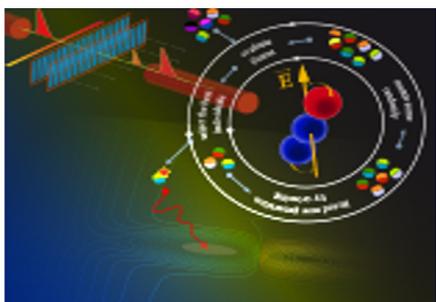


Figure 2 : Optimisation d'écho d'alignement moléculaire

- ¹M. Bournazel, J. Ma, F. Billard, E. Hertz, J. Wu, C. Boulet, J.-M. Hartmann, and O. Faucher, *Non-Markovian collisional dynamics probed with laser-aligned molecules*. *Phys RevA*. 107, 023115, 2023.
- ²M. Bournazel, A. Espaignol, P. Béjot, E. Hertz, F. Billard, and O. Faucher, *Feedback optimization strategy for rotational alignment echo spectroscopy*, *Adv. Photonics Res.*, 2300221, 2023.

ÉQUIPE PRISM (PLASMONICS, RESONANT NANOPHOTONICS AND SUBMICRON OPTICS)

Des structures auto-assemblables de protéines artificielles ou comment élaborer un « origami » moléculaire

S'il est possible de construire des nanostructures de forme contrôlée en exploitant la structure en double hélice des molécules d'ADN (conduisant à des assemblages communément appelés "origamis d'ADN"), il demeure beaucoup plus difficile d'élaborer de telles structures précises à partir de protéines. Pourtant, dans les cellules vivantes, des architectures supramoléculaires très sophistiquées comme les microtubules, les filaments d'actine, ou les flagelles assurent des fonctions vitales et sont entièrement constituées de protéines naturelles. Ces dernières s'assemblent spontanément parce que chaque protéine a une forme particulière qui lui permet d'interagir de façon très spécifique avec d'autres protéines, menant ainsi à des architectures complexes. Créer des architectures supramoléculaires ordonnées de protéines ouvrirait la porte à de nombreuses applications en biologie mais aussi en science des matériaux.

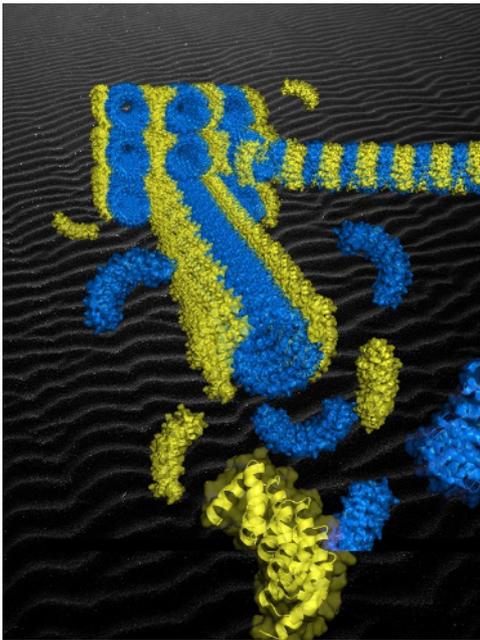


Figure 3 : Modèle semi-expérimental de l'origami de protéines artificielles dont la superhélice de briques (en bleu) s'auto-assemble par affinité avec l'agrafe (en jaune). L'extrême régularité de la structure supramoléculaire obtenue dispose les agrafes périodiquement le long de la superhélice et induit la formation de cristaux d'origami alignés (voir au fond).

Dans un travail interdisciplinaire entre I2BC, CEMES, CBI, IPR et ICB, une méthode généralisable de construction d'architectures de protéines artificielles a été élaborée. Plutôt que de modifier des protéines naturelles, les scientifiques ont privilégié la conception de nouvelles protéines à la fois très régulières et programmées pour s'assembler dans des géométries précises capables de former des superstructures stables. L'une de ces protéines, dite "agrafe", a pour rôle d'agencer précisément plusieurs autres protéines appelées "briques", leur assemblage donnant naturellement à l'architecture tridimensionnelle supramoléculaire sa complexité structurale.

Ce concept d'origami de protéines promet une programmation des architectures aussi efficace que les origamis d'ADN, mais avec en plus le potentiel de généralisation important qu'apporte l'extraordinaire diversité des protéines en termes de fonctions chimiques et de reconnaissance moléculaire. En particulier, faire varier l'agencement spatial des briques et des agrafes pourra permettre de créer toute une gamme de "patrons" pour par exemple organiser des nanoobjets les uns par rapport aux autres (enzymes, nanoparticules, virus, ...), encapsuler des principes actifs, guider la croissance de nanomatériaux ou encore structurer l'interface entre la matière biologique et un matériau solide. Ce premier travail expérimental ouvre donc des perspectives importantes à un moment où les outils informatiques de conception de protéines artificielles deviennent performants et disponibles.

- **L. Moreaud et al., Design, synthesis, and characterization of protein origami based on self-assembly of a brick and staple artificial protein pair, PNAS, 120, 11, 2023.**

Des sources de lumière nanométriques contrôlées par des lasers en forme de doughnut

Des recherches dirigées par Gonzague Agez et Vincent Paillard, enseignants-chercheurs à l'université Toulouse III – Paul Sabatier, au Centre d'élaboration de matériaux et d'études structurales (CEMES) du CNRS, ont démontré qu'il est possible de façonner l'émission de lumière dans des systèmes hybrides à base d'émetteurs de photons couplés à des nano-antennes de silicium, en utilisant des lasers dans des états de polarisation spécifiques. Leur étude, menée en collaboration avec d'autres équipes scientifiques basées à Lyon, Dijon, Grenoble et Toulouse permet une meilleure compréhension de l'interaction lumière – matière et ouvre la voie à des applications dans le domaine de la nanophotonique. Elle est publiée dans *Light: Science & Applications - Nature*.

- **M. Montagnac et al., Control of light emission of quantum emitters coupled to silicon nanoantenna using cylindrical vector beams, Light: Science & Applications, 12(1), 239, 2023.**

ÉQUIPE SAFIR (Solitons, Lasers Fibres et Photonique Infrarouge)

Système de préparation par laser des carbonates pour analyses isotopiques de C et de O : vers une capacité d'analyse complète in situ et sans consommables

Une collaboration entre l'ICB, le laboratoire Biogéosciences de l'UB et le Muséum d'Histoire Naturelle de Paris, a permis de développer une nouvelle technique de préparation par laser des carbonates d'origine géologique pour réaliser des analyses isotopiques de C (13 sur 12) et O (18 sur 16). Cette technique, qui a été brevetée (brevet monde) a été largement présentée dans de nombreuses conférences de géologie, géochimie et de spectrométrie atomique. A partir du premier démonstrateur, le laboratoire a construit un nouveau prototype transportable pour réaliser les analyses directement sur site lorsqu'il est couplé à un spectromètre infrarouge isotopique. En plus de la démonstration de faisabilité, ce dispositif a été complètement évalué quant à ses performances métrologiques et il a ainsi révélé sa capacité à obtenir des mesures de qualité équivalente aux techniques acides traditionnelles, coûteuses et chronophages. Une nouvelle version portable sous forme de pistolet est en fin de développement et de nombreuses campagnes de mesures, in situ, sont déjà planifiées (Jura, Mexique, république Tchèque, etc.).

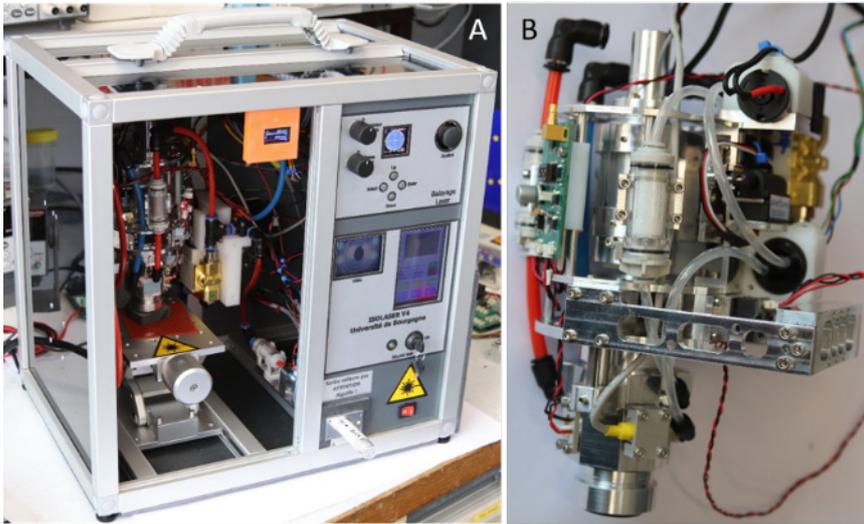


Figure 4 : Dispositif transportable de préparation de carbonates par laser (A), zoom sur la tête optique et de collecte de gaz (B)

- <https://www.bienpublic.com/science-et-technologie/2023/07/29/ils-tirent-sur-des-cailloux-au-laser-pour-retracer-leur-histoire>
- Brevet : O. Musset et al. Dispositif de production de CO₂ gazeux à partir de carbonates pour analyse isotopique (13C et 18O) sur site et procédé associé, FR1907289 -3098300, WO 2021/001344A1.
- C. Thomazo et al., *In situ carbon and oxygen isotopes measurements in carbonates by fiber coupled laser diode-induced calcination: A step towards field isotopic characterization*, *Chemical Geology* 578, (2021) 120323,
- A. Petitjean et al. *A Laser-Laser method for carbonate C and O isotopes measurements, metrology assessment and stratigraphic application*, *Methods - Front. Geochem. - Solid Earth Geochemistry, 2023*, Edited by Michael Roden, 1334490.

50 ans de solitons dans les fibres optiques !

Le soliton a constitué un sujet majeur d'études qui a largement débordé le domaine de l'hydraulique, où il a été observé pour la première fois au XIXe siècle. En effet, avec l'avènement des lasers et des fibres optiques, les chercheurs F. Tappert et A. Hasegawa ont prédit l'existence des solitons dans les fibres optiques il y a 50 ans ! Ce concept a ouvert la voie à de nombreuses innovations dans les télécommunications, les lasers ultrabrefs, les peignes de fréquence, etc. L'étude des solitons tient une place toute particulière à l'Université de Bourgogne, et notamment au sein du Dpt Photonique et de l'équipe SAFIR du laboratoire ICB, dans laquelle aussi bien les applications technologiques que les aspects les plus fondamentaux des solitons sont explorés.

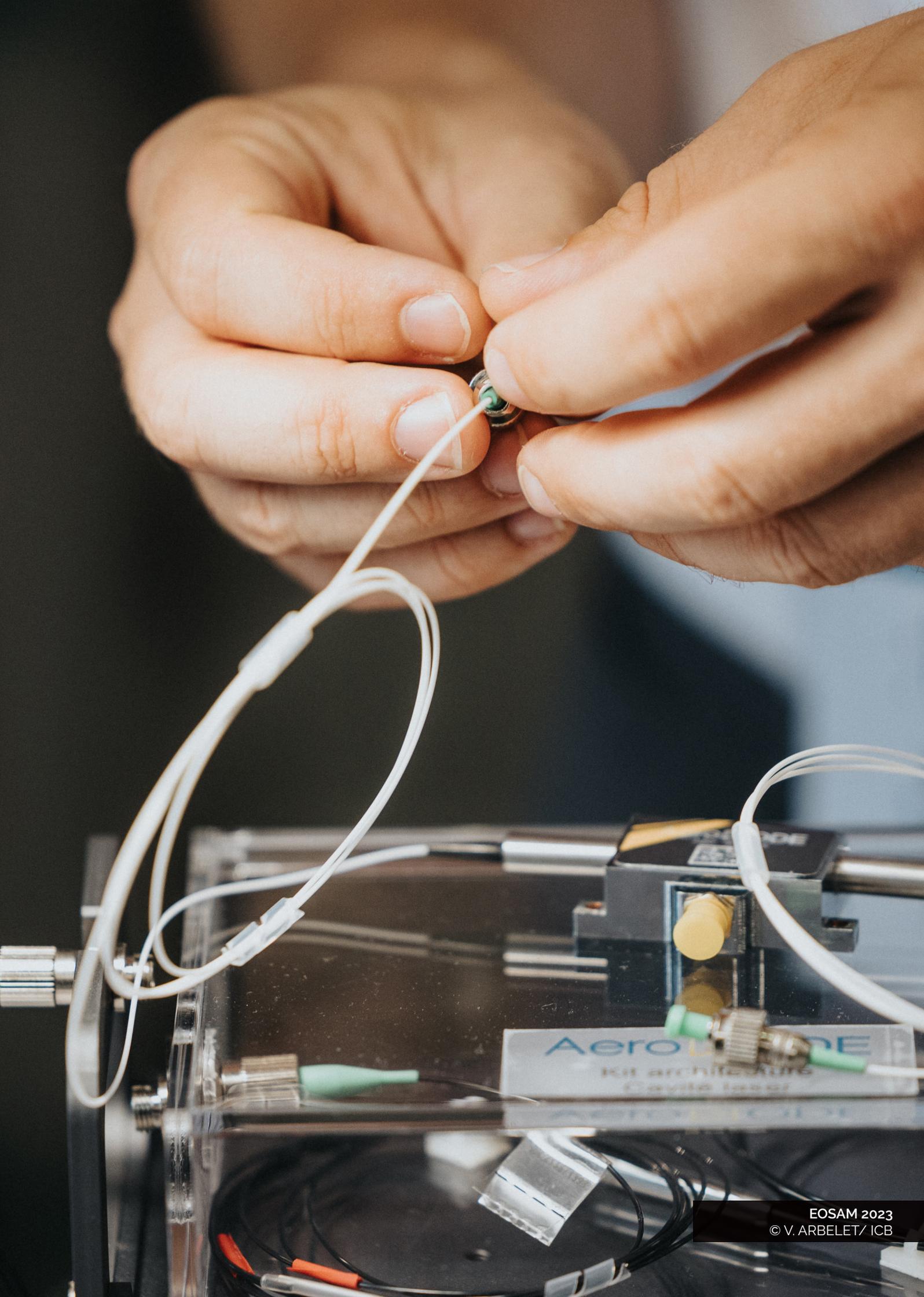


Pour commémorer ces 50 ans du soliton dans les fibres optiques, les chercheurs de l'équipe SAFIR de l'ICB ont entrepris diverses actions en 2023 (en collaboration avec FEMTO-ST) :

- Numéro spécial avec plus de 30 articles dans la revue scientifique « Optics Communications » où notamment A. Hasegawa fait l'honneur de revenir sur le cheminement l'ayant amené aux solitons dans les fibres optiques.
- Mini-colloque spécifique au Congrès Général de la Société Française de Physique à la Cité des Sciences et de l'Industrie à Paris
- Série spéciale de conférences invitées lors de la conférence internationale EOSAM 2023 de la Société Européenne d'Optique au Palais des Congrès de Dijon
- Article et couverture de la revue internationale de vulgarisation en optique/photonique « Optics and Photonics News »
- Article dans la revue « Photoniques » de la Société Française d'Optique
- Emission de radio / Podcast « Sciences en Lumières », Lumière sur les solitons (diffusée aussi sur RCF) <https://soundcloud.com/sciencesenlumiere/soliton>
- Conférences grand-public à Dijon (fête de la Science 2023, Année de la Physique) et Cargèse (Ecole d'été internationale à l'Institut d'Etudes Scientifiques) <https://www.youtube.com/watch?v=VN2HjSDCg4c>
- Exposition « 1973-2023 : 50 années de solitons dans les fibres optiques » dédiée aux solitons et aux travaux dijonnais.

NOUVEAUX CONTRATS 2023

- Projet Européen AMBROSIA : « A multiplexed plasmo-photonic sensing platform for rapid and intelligent Sepsis diagnosis at the point of care » (Coord. Local : Jean-Claude Weeber, avec le Département Nanosciences).
- Projet Européen NEURO-PULS : « Neuromorphic energy-efficient secure accelerators based on phase change materials augmented silicon photonics » (Coord. Local B. Cluzel).
- Projet Européen EIC Transition M-ENGINE (2024-2026) : "Nouveaux modules photoniques ultracompacts pour la génération de peignes de fréquences optiques" (Coord. Local : E. Lucas).
- ANR 3D-MOC : « Fabrication 3D avancée de composants optiques intégrés multimatériaux » (Coord. local F. Smektala).
- ANR SMARTKOMBS : « Architectures photoniques avancées pour une nouvelle génération de peignes de fréquence Kerr » (Coord. Local : E. Lucas).
- ANR WANOO : « Wave turbulence and nonlinear random caustics in disordered optical systems » (Coord. Local A. Picozzi).
- PHC Pessoa France-Portugal : « Chalcogenide glasses rare-earths doped » (Coord. Local F. Smektala). Collaboration avec l'Université d'Aveiro.
- PHC Polonium France-Pologne : « Conversion de fréquences ultra-décalées dans les fibres multimodes » (Coord. Local : B. Kibler). Collaboration avec Wrocław University of Science & Technology.
- Contrat de Recherche France-USA Entreprise TIPD LLC « Highly birefringent chalcogenide optical fibers » (Coord. local F. Smektala / B. Kibler).



Aerolight
Kit architecture
Cavity laser

DÉPARTEMENT PMDM

PROCÉDÉS MÉTALLURGIQUES, DURABILITÉ, MATÉRIAUX

Directeur

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

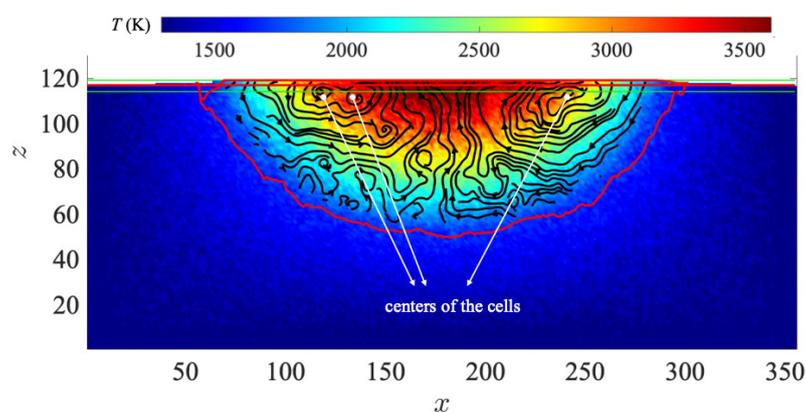
Directeur Adjoint

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

L'objectif du département « 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

DE L'HYDRODYNAMIQUE AUX PETITES ÉCHELLES



Nous avons observé de la convection thermocapillaire dans un système métallique de nickel pur à l'échelle nanométrique (250 nm), dans des simulations de dynamique moléculaire. La surface du métal a été irradiée par un flux de chaleur, imitant une source laser focalisée. Comme le bain fondu est soumis à un gradient de température, la tension de surface le long de l'interface s'en trouve modifiée. Dans un métal liquide, il s'établit un gradient de tension de surface opposé au gradient de température. Même si la taille de la piscine métallique est nanométrique, le métal liquide s'écoule dans la direction de la haute tension de surface. Deux cellules de convection en rotation opposée se sont développées, caractéristiques de ce qui est observé dans le soudage et d'autres processus de traitement des matériaux comme la fabrication additive. Une estimation systématique des paramètres pertinents en hydrodynamique nous a permis d'interpréter les résultats en termes de nombres de Prandtl, Marangoni et Péclet, comme on pourrait le faire dans un système macroscopique.

La figure montre le champ de température et les lignes de courant dans le bain liquide de nickel indiqué par la courbe en rouge.

Ces travaux ont été publiés récemment : Olivier POLITANO et Florence BARAS, *J. Appl. Phys.* 134, 095301 (2023) ; doi: 10.1063/5.0167061 ; hal-04199320v1

QUANTIFICATION DE L'AZOTE IMPLIQUÉ DANS L'OXYDATION HAUTE TEMPÉRATURE DU TITANE SOUS AIR.

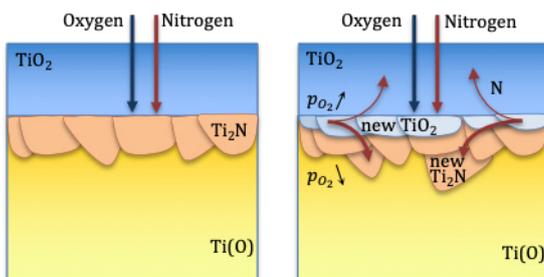
Participants : Luc Lavisse, Maria-del-Carmen Marco de Lucas, Tony Montesin, Victor Pacorel, Benjamin Vincent, Virgil Optasanu, ICB-PMDDM

Le réchauffement climatique conduit notamment à limiter les émissions de dioxyde de carbone dans des secteurs pourtant en pleine expansion comme l'aéronautique. Une solution pour limiter les rejets de ce gaz consiste à alléger certaines parties des avions comme les turboréacteurs, notamment en remplaçant dans les zones chaudes les alliages de nickel actuellement utilisés par des alliages de titane, moins dense. Or, l'insertion de l'azote présent dans l'air ralentit l'oxydation à haute température des alliages de titane. C'est pourquoi, depuis une dizaine d'années dans le département PMDDM du laboratoire ICB, des travaux sont entrepris et ils ont permis de localiser l'accumulation d'azote en dessous de l'interface métal - oxyde et de quantifier l'azote en termes de prise de masse. Ces résultats représentent une première mondiale à notre connaissance.

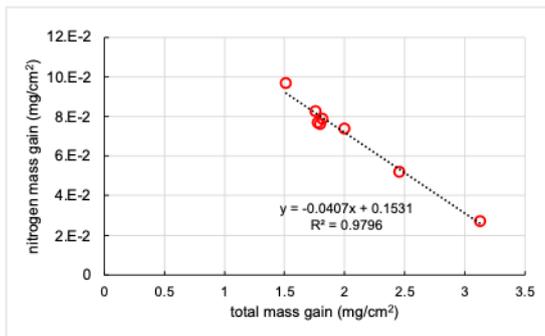
Pour cela, nous nous sommes appuyés sur des techniques de quantification spécifiques aux éléments légers, basées sur des analyses par faisceaux d'ions. Ainsi un échantillon de titane préalablement oxydé à HT dans l'air, irradié par un faisceau d'ions haute énergie (collaboration avec le laboratoire NIMBE du CNRS/CEA de Saclay) conduit à des interactions nucléaires spécifiques à l'isotope. En utilisant des techniques de marquage isotopique, nous avons procédé par étape pour effectuer des oxydations successives :

- Une première étape d'oxydation à HT avec une atmosphère oxydante enrichie à l'azote 15
- Puis une atmosphère oxydante enrichie en azote 14

Nous avons ensuite pu alors distinguer l'azote 14 et 15 et donc proposer des nouveaux mécanismes du cycle de vie de l'azote impliqué dans l'oxydation du titane [1]



En utilisant les mêmes techniques de quantification, nous avons pu montrer que, pour différents alliages de titane dans la famille de l'alliage aéronautique Ti 6242S, la résistance à l'oxydation est strictement corrélée à la prise de masse d'azote. Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet ANR ALTITUDE [2]. Ceci ouvre des nouvelles perspectives pour l'élaboration d'alliages innovants résistants à l'oxydation haute température par l'ajout d'éléments d'alliage stabilisant les nitrures.



Nous avons aussi pu en 2023 créer des nouvelles collaborations avec des laboratoires spécialisés en analyses par faisceaux d'ions, par l'obtention de deux appels à projets du Réseau national d'accélérateurs d'irradiation et d'analyse de molécules et matériaux (EMIR&A). Cela permet d'avoir des faisceaux d'ions avec des caractéristiques optimales pour chacune de ces analyses sur les éléments légers (azote, oxygène voire carbone) à effectuer. Nous avons ainsi bénéficié de 8 journées d'analyse par faisceaux d'ions au titre de l'année 2023 avec le laboratoire CEMTHI CNRS Orleans et à AIFIRA, Gradignan- Bordeaux, ouvrant de nouvelles possibilités de recherches à haut impact.

D'autres travaux sont en cours de publication dans le cadre de la thèse de V. Pacorel.

[1] V. Optasanu et al, *Corrosion Science* 2023, 216, 111072.

[2] V. Optasanu et al. *Corrosion Science* 2023, 224, 111547

PROJET ANR PRCE OEDIPUS – DÉVELOPPEMENT DE MATÉRIAUX MÉTALLIQUES PERFORMANTS PAR COUPLAGE SPS-PVD - AAPG 2023 - CE08

Coordinatrice : Maria-Rosa Ardigo-Besnard

Partenaires : ENSAM (Cluny), CEMES (Toulouse), SINTERMAT (Venarey-les-Laumes)

Le projet OEDIPUS (42 mois, 590 k€) a été financé dans le cadre de l'APPG 2023 de l'ANR. Il s'agit d'un projet de recherche collaborative - entreprise qui a également été labellisée par le pôle de compétitivité Nuclear Valley. Le point fort du projet multidisciplinaire OEDIPUS est de fédérer trois laboratoires de recherche (ICB, ENSAM et CEMES) et une startup (SINTERMAT) autour de la conception de matériaux innovants. L'originalité et la nouveauté du projet sont de coupler les avantages de la technologie du dépôt physique en phase vapeur (PVD) et du procédé spark plasma sintering (SPS) pour développer une solution innovante permettant l'élaboration de matériaux métalliques de haute performance.

Les résultats obtenus permettront de lever des verrous bien connus par la communauté scientifique de la technologie SPS et, en même temps, ils seront profitables au niveau industriel. En effet, l'amélioration des propriétés d'usage des composants métalliques constitue un enjeu primordial pour de nombreux secteurs industriels, tels que l'aéronautique, l'aérospatial, la défense, etc. Une microstructure fine et homogène, garantissant de meilleures propriétés d'emploi, est généralement recherchée. L'élaboration de pièces métalliques par métallurgie des poudres en utilisant la technologie du frittage sous charge, tel que le procédé spark plasma sintering (SPS), représente une voie pertinente à explorer comme alternative aux procédés de mise en forme conventionnels (fonderie, forge, usinage...), car elle permet l'élaboration en une seule étape de matériaux avancés et d'éléments structuraux ayant des propriétés mécaniques élevées, des grandes dimensions et des formes complexes. Un des problèmes majeurs pendant le frittage SPS est la contamination par le carbone de la poudre métallique, due aux outillages en graphite et/ou aux feuilles de graphite intercalées entre la poudre et les surfaces de contact avec les pistons et le moule (Figure 1 a).

Si la pièce frittée est usinée ultérieurement, les carbures surfaciques peuvent être éliminés, cependant la diffusion de carbone aux joints de grains et à cœur du matériau reste un phénomène irréversible (Figure 1 b), responsable de la dégradation des propriétés d'usage. Afin d'éviter ce problème, dans le projet OEDIPUS, un dépôt PVD d'un élément carburigène sera appliqué, dans un premier temps, sur les feuilles de graphite afin de réduire, voire supprimer, la diffusion du carbone (Figure 1 c). Dans un deuxième temps, la réalisation d'un dépôt de couche protectrice par PVD directement sur l'outillage en graphite sera envisagée.

Les travaux effectués dans le cadre du projet OEDIPUS seront réalisés au sein de la plateforme CALHIPSO/EQUIPEX+. Les membres de l'ICB impliqués dans le projet sont : Maria-Rosa Ardigo-Besnard (coordinatrice), Florence Baras, Sophie Le Gallet et Frédéric Bernard.

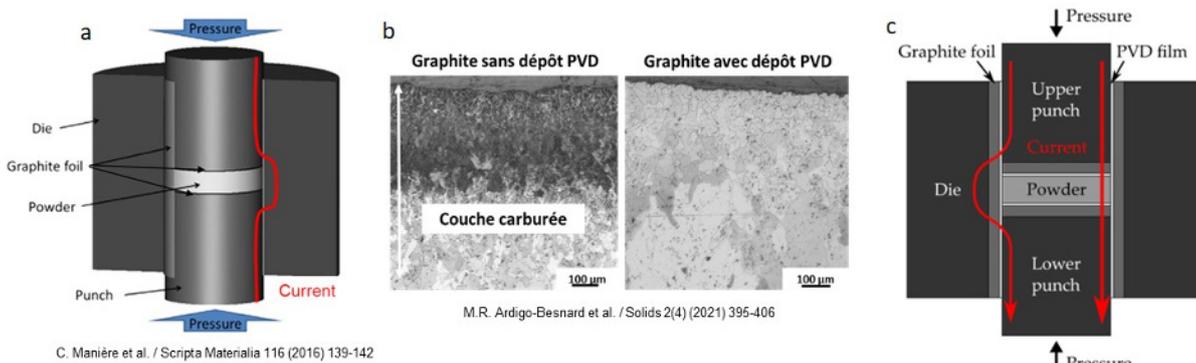


Figure 1 : a) Dispositif SPS « classique » ; b) Observations par microscopie optique d'une poudre de Fe frittée en utilisant des feuilles en graphite non revêtues et revêtues d'un dépôt PVD de Ti ; c) Dispositif SPS avec les feuilles en graphite revêtues d'un dépôt PVD.

ACTIVITÉS DE LA CHAIRE FRAMATOME/UB - POINT SUR LA SIMULATION DE LA CIC

Les travaux de simulation de la Compaction Isostatique à Chaud d'une poudre d'acier 316L, qui est un matériau stratégique dans le nucléaire, visent à développer un modèle capable de prédire :

- la forme finale en tenant compte de la présence d'un conteneur,
- les propriétés d'usage dont la microstructure.

Concernant la modélisation des déformations, plusieurs travaux ont été menés dans le cadre du projet FUI COM-PO (coll. Manoir Industries, Framatome, SCGI) :

- un modèle de déformation viscoplastique d'un milieu poreux plus satisfaisant d'un point de vue théorique que le modèle d'Abouaf-Chenot couramment utilisé a été implémenté. La formulation des iso-potentiel de dissipation du modèle LPS (Leblond-Perrin-Suquet) a été simplifiée par une approximation numérique pour en permettre l'implémentation dans un code de calcul par éléments finis,
- le protocole expérimental permettant d'ajuster le modèle a également été simplifié : i) la loi de comportement viscoplastique du matériau massif est déterminée en compression uni axiale à l'aide d'une machine de frittage SPS, ii) un suivi de densification de la poudre est réalisé par essais CIC interrompus à température croissante sur un seul conteneur sphérique,
- une pièce de grande dimension (80cm) a été réalisée par Framatome. Cette pièce associant parties massives et élancées vise à permettre de prendre en compte les gradients de température dans le modèle par ajustement sur les distorsions finales,
- là où une simulation homotherme ne permet pas de reproduire ces distorsions, un calcul de diffusion thermique avec une conductivité dépendant de la porosité, quant à lui, les sur estime. Ceci est dû au fait que le modèle de déformation purement viscoplastique ne permet pas de reproduire le début de densification et surestime les différences de vitesse d'échauffement entre partie massive et partie élancée.

La prise en compte de la phase de réarrangement en début de densification nécessite de combiner au modèle viscoplastique un comportement de type plasticité avec seuil adapté à un milieu granulaire (de type Cam-Clay) mais ductile. La densification de la poudre de 316L à basse température (< 700°C) a été caractérisée par des essais de compression/relaxation œdométriques avec la machine SPS au cours de travaux de thèse de Petr Mamykin. La courbe de consolidation ne suit pas le modèle de Cam-Clay mais nécessite une adaptation empirique pour tenir compte de la déformabilité des particules. La fig. 1 montre l'ajustement du modèle complet (plastique + viscoplastique) sur le suivi de densification par mesure du diamètre du conteneur sphérique après essais CIC interrompus.

Le modèle développé pour la CIC a été appliqué avec succès à la densification de poudres de superalliages à base nickel par SPS au cours du projet DIABLOS (coll. SINTERmat, Safran), travaux qui se poursuivent par une thèse CIFRE (Khalil Chaaban).

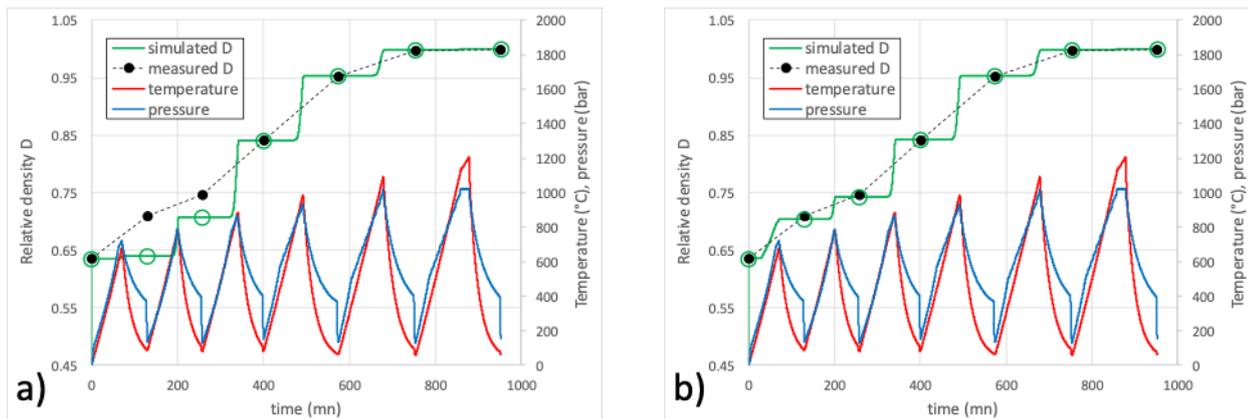


Figure 1 : simulation de la densification de la poudre d'acier 316L en conteneur sphérique sur le cycle CIC réel des essais interrompus. Comparaison de la densité simulée (courbe verte) avec celle estimée par mesure du diamètre (points noirs). a) Modèle viscoplastique seul (poudre et conteneur). b) Modèle complet ; plasticité avec seuil + viscoplasticité pour la poudre et le conteneur, avec la loi de comportement identifiée par SPS pour la poudre.

FABRICATION DE COMPOSITES TITANE/NANODIAMANTS PAR SPARK PLASMA SINTERING

(Plateforme CALHIPSO, Projet FEDER-BPI MONTCEAU n°BG00119965)

Dans cette étude, des disques composites de titane (Ti) /nanodiamants (ND) ont été frittés par SPS (Spark Plasma Sintering). La densification des mélanges de poudres $Ti+x\% ND$ (avec $X = \{2 ; 5 ; 10 ; 15\}$) a été étudiée afin de rechercher les cycles de frittage optimisés et, ce, en vue d'obtenir une densité maximale. L'analyse des microstructures comme le montre le cliché réalisé au microscope électronique en transmission (MET, Figure 1) révèle la présence de trois phases : la phase titane, la phase solide TiC_x (TiC_x : phase TiC non stœchiométrique) et les nanodiamants situés à l'intérieur des grains de TiC_x . Ces observations, complétées par des analyses de diffraction des rayons X, montrent que les nanodiamants réagissent avec le Ti pour former une phase solide de type TiC_x .

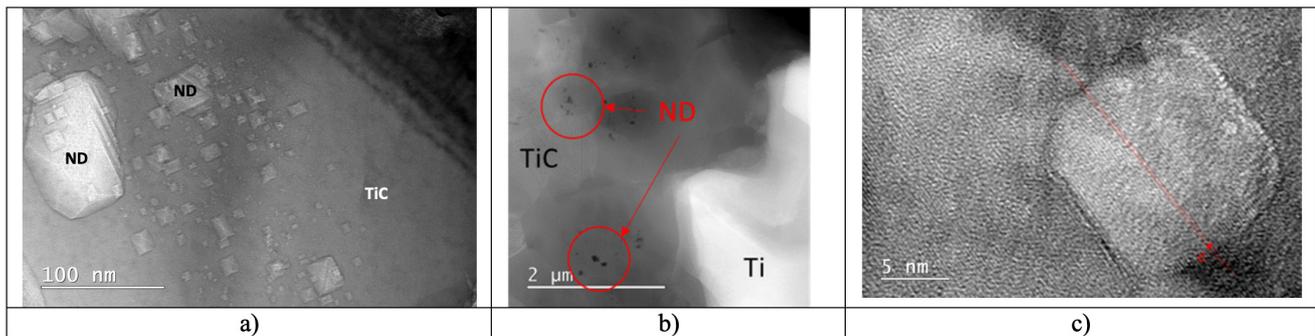


Figure 1 : Images TEM réalisées par J. Bourgon (ICPME CNRS, Thiais) du mélange $Ti + 10\%$ en masse de ND préparé en utilisant le SPS dans des conditions optimisées montrant la présence de ND : (a) Image STEM en champ clair montrant le grain de Ti, la phase TiC et les ND situés dans le grain de TiC ; (b) confirmation de la présence de ND dans la phase TiC et (c) Validation de la distance interatomique des ND.

Les résultats résumés sur la Figure 2 montrent que plus la teneur en nanodiamants est élevée, plus la dureté du composite augmente et plus la conductivité électrique diminue. La dureté est passée de 340 HV pour le titane pur à 1346 HV pour le mélange $Ti + 15\%$ en masse de ND. La conductivité électrique est réduite d'un facteur trois pour le mélange $Ti + 15\%$ en masse de ND par rapport à celle déterminée dans le titane. Ces comportements forts intéressants s'expliquent par la diminution de la quantité de titane au profit de la phase solide TiC_x lorsque la teneur en ND augmente dans le composite. Ainsi, cette étude a fait l'objet d'un dépôt de brevet en copropriété entre l'uB et SINTERMAT puisque l'obtention de composites $Ti@ND$ denses étend le champ d'application du titane pour des applications structurales.

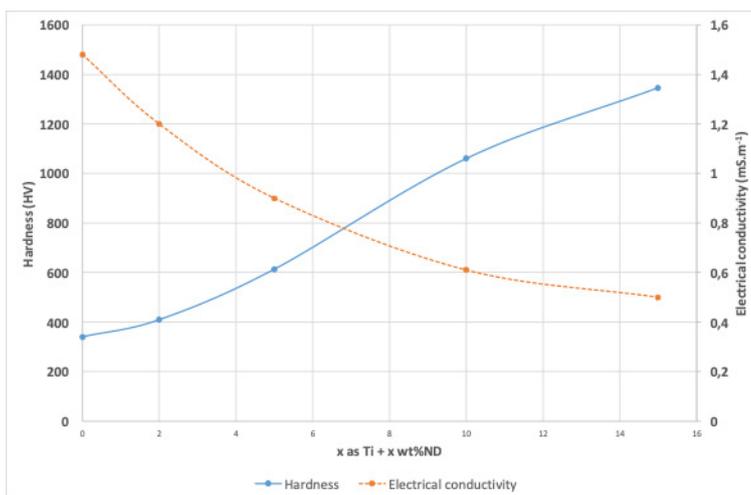


Figure 2 : Évolutions de la dureté HV et de la conductivité électrique des différents composites $Ti+x\%mND$ préparés par SPS

- Brevet N°FR2207809 SINTERMAT/ICB-uB - " Procédé de fabrication d'une pièce dense en composites de titane et de nanodiamants à propriétés améliorées. F. Naimi (Sintermat), G. Kalfayan (ICB-uB), F. Bernard (ICB-uB).
- G. Kalfayan, F. Bussière, J. Bourgon, F. Herbst, N. Geoffroy, M. Ariane, S. Le Gallet, F. Bernard -« Effects of spark plasma sintering and the nanodiamond amount on titanium-nanodiamond composite properties », Article soumis Materials &Design.

CONTRÔLE DES PROPRIETES DE SURFACE ET DE VOLUME D'OXYDES CERAMIQUES $BaZr_{1-x}Y_xO_{3-\delta}$ CONDUCTEUR PROTONIQUE POUR L'ELECTROLYSE DE L'EAU.

PEPR - H2, Programme de Recherche Hydrogène décarboné



La synthèse hydrothermale en milieu supercritique en continu a permis d'élaborer des composés $BaZr_{1-x}Y_xO_{3-\delta}$ présentant des propriétés de surface et de volume optimisées pour améliorer leur conductivité protonique, ces résultats ont été publiés dans *Ceramics International*.

- <https://doi-org.proxy-bu1.u-bourgogne.fr/10.1016/j.ceramint.2023.05.070>



« Synthesis of Y-doped $BaZrO_3$ proton conducting electrolyte material by a continuous hydrothermal process in supercritical conditions: Investigation of the formation mechanism and electrochemical performance »

- **Mélanie François, Victoire Lescure, Olivier Heintz, Lionel Combemale, Frédéric Demoisson, Gilles Caboche**

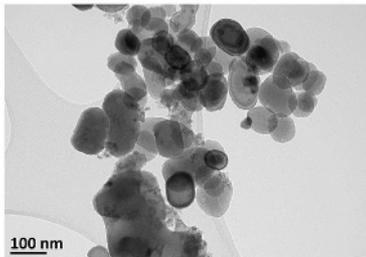


Figure 2. Micrographie TEM de la poudre brute de BZY15.

Dans ce travail, $BaZr_{0.85}Y_{0.15}O_{3-\delta}$ a été élaboré par un processus hydrothermal continu dans des conditions supercritiques (410 °C/30,0 MPa). Les analyses par diffraction des rayons X, microscopie électronique à transmission et spectroscopie photoélectronique des rayons X ont permis de proposer une description du mécanisme de formation de cet oxyde dans l'eau supercritique. Ce mécanisme consiste en la précipitation de nanoparticules cœur-coquille dans lesquelles le cœur est une pérovskite déficiente en Ba et la coquille une espèce oxyhydroxyde de Y et Zr. Ensuite, Ba^{2+} , Zr^{4+} et Y^{3+} sont incorporés dans la pérovskite à partir de la solution et de la coque. Après un traitement de recuit à 1000 °C pendant 1h pour homogénéiser la composition, la poudre a été pressée en pastille et frittée à 1550 °C pendant 5h pour analyser ses propriétés électrochimiques. La conductivité totale de cet oxyde est de $2,5 \times 10^{-3} S cm^{-1}$ à 600 °C dans H_2 humide (3 % H_2O). De plus, des mesures de spectroscopie d'impédance électrochimique ont montré que sa conduction est principalement protonique à une température inférieure à 575 °C.

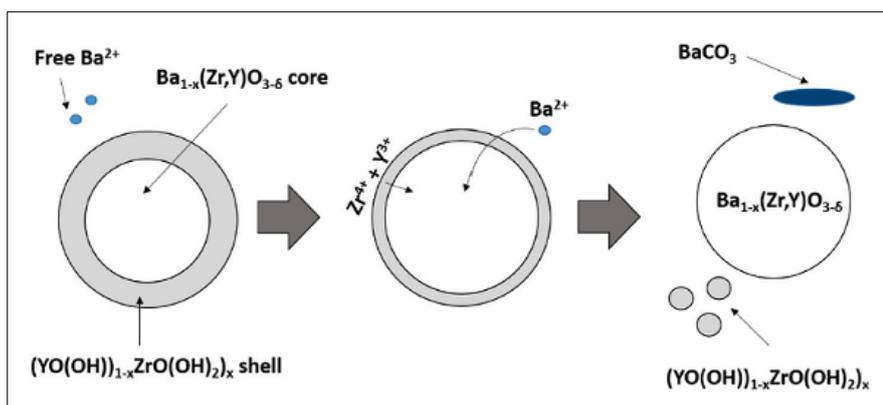


Fig. 4. Mécanisme de formation supposé de BZY dans le système hydrothermal continu à 410 °C et 30,0 MPa, adapté de la réf. [51]. (Non coloré pour la version imprimée).

PMDM LERMPS

NOUVEAUX CONTRATS 2023

PROJETS EUROPÉENS

Le projet RE-MAKE (Refurbishment and additive manufacturing accomplished by kinetic deposition) est un projet financé par la Commission Européenne et issu de l'appel à projet HORIZON-MSCA-2022-DN. Il a débuté le 18 octobre 2023. Le but principal est la formation de 10 doctorants localisés dans différents laboratoires européens sur la thématique de la fabrication additive et de la réparation par le procédé Cold Spray. Ce projet associe aussi des partenaires industriels afin de mieux positionner et développer ces techniques au niveau européen. HYDIS EDF-2023-AIRDEF-D-EATMI (Fonds européen de défense EDF) : le but est d'étudier et de développer un intercepteur endo-atmosphérique multi rôle pour contrer les menaces aériennes émergentes.

2 PROJETS ANR RETENUS

- OPTILAM (ANR) : optimisation interaction Laser-Matière pour une microstructure visée
- FALSTAFF (ANR) : Fabrication additive d'alliages magnétiques à faibles pertes par feuillette 3D

1 PROJET RÉGION

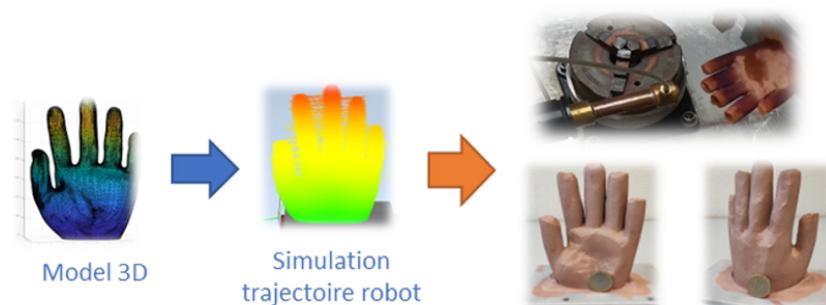
- AMG COPPER (EUR) : SLM cuivre pour système de contrôle et d'observation

1 BREVET

Avec LISI : Suivi de la conductivité d'une connexion électrique entre les cellules d'une batterie de traction d'un véhicule automobile

FABRICATION ADDITIVE PAR COLD SPRAY

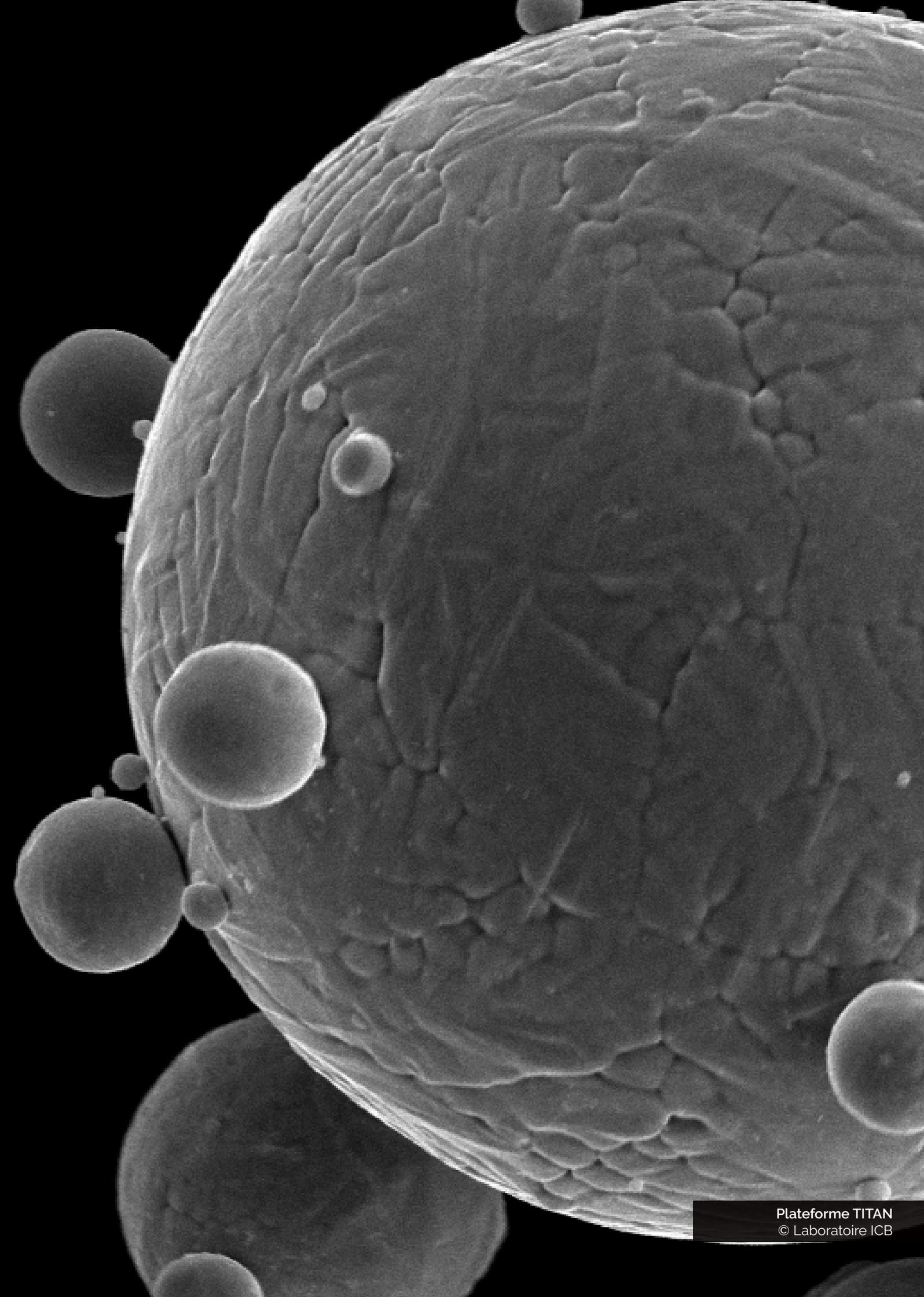
L'université de Belfort Montbéliard signe une première dans le domaine de la fabrication additive Grâce à la programmation robotique combinée au procédé de projection thermique Cold Spray, l'équipe portée par Sihao Deng, enseignant-chercheur à l'UTBM (UMR CNRS - ICB-LERMPS) a fabriqué une pièce complexe, en l'occurrence une main de cuivre de 2,2 kg.



La production de cette pièce complexe par projection à froid suivant une technique inédite de programmation de trajectoire robotique ouvre des perspectives industrielles majeures.

PLATEFORME TITAN

La plateforme Titan a réalisé la jouvence de son granulomètre et fait l'acquisition d'un morphogranulomètre. Le granulomètre à diffraction laser Malvern Mastersizer 3000 permet de réaliser des mesures de tailles de particules en respectant la norme ISO 13320 :2020 pour des particules de morphologies sphériques en matériaux céramiques, métalliques ou polymères et ayant des dimensions (diamètre) comprises entre 0,1 et 1000 μm . Le granulomètre permet d'effectuer des analyses en voie sèche (particules véhiculées jusqu'à la zone de mesure via un gaz) avec comme particularités de disposer d'un système de dispersion des particules très efficace permettant l'analyse de poudres cohésives de petits diamètres et de présenter une gestion optimisée de la poudre permettant un nettoyage facile et évitant ainsi une contamination croisée des lots analysés. Le morphogranulomètre Keyence VHX-7000 offre la possibilité de mesurer la taille des particules mais également de caractériser leur morphologie. Il permet d'observer des particules de dimensions allant de 10 μm à 500 μm avec une haute résolution et la possibilité par assemblage d'images d'analyser une surface importante (20 mm x 20 mm). Il permet également de visualiser et de retrouver les particules analysées avec la possibilité de modifier les conditions d'observation afin d'éliminer d'éventuels artefacts de mesures (particules superposées, pollution...). Il est ainsi possible de déterminer les caractéristiques morphologiques des particules à travers l'évaluation des paramètres tels que l'aire, le périmètre, le diamètre de Féret, le diamètre de cercle équivalent ou le diamètre de Martin.



PLATEFORME ARCEN-Carnot

Directeur

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

Directeurs Adjoint

Aurore ANDRIEUX, Aurore.Andrieux@u-bourgogne.fr

Olivier HEINTZ, Olivier.Heintz@u-bourgogne

La plateforme ARCEN-Carnot centralise un parc instrumental dédié à la nano-fabrication et à la nano-caractérisation à la pointe du développement technologique pour les matériaux avancés, la photonique et la biologie. La plateforme propose aussi un soutien à la recherche dans les domaines mécaniques, électroniques et informatiques.

Forte de 24 personnels techniques (de techniciens à ingénieurs de recherche) issus de différentes branches d'activités professionnelles, ARCEN-Carnot propose un savoir-faire sur la réalisation de nano-objets fonctionnels et la caractérisation physico-chimiques des matériaux multi-échelles.

Les expertises d'ARCEN-Carnot sont accessibles aux acteurs académiques et industriels. La plateforme est aussi une structure privilégiée pour la formation et l'enseignement. ARCEN-Carnot est positionnée comme une des plateformes les plus importantes de la Région Bourgogne-Franche-Comté (BFC).

FAITS MARQUANTS

Dans le cadre du Réseau des Technologies du Vide du CNRS (Mission pour les Initiatives Transverses Interdisciplinaires MITI), une formation "Maintenance des pompes à vides" a eu lieu à l'ICB en octobre 2023. L'objectif premier de cette formation est de rendre autonomes les utilisateurs de pompes à vide pour les maintenances de premier niveau. Il s'agit également, à l'échelle du laboratoire et de l'Université, de participer au RTVide et ainsi de favoriser les échanges entre utilisateurs et d'assurer la diffusion d'informations concernant les technologies du vide.



Stéphane Maitre, Olivier Heintz et Virginie Speisser (coordinatrice du RTvide et Ingénieure d'Etudes à l'Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg) ont assuré cette première session de formation qui a été suivie par 6 collègues appartenant à l'ICB, ICMUB et INRAe. D'autres sessions seront proposées dans les mois à venir.

Centre de Micro/Nano Caractérisations (CMNC)



• Achat d'un métalliseur / Evaporateur automatique sous vide secondaire (Q150T ES Plus QUORUM). Il est généralement utilisé comme équipement de préparation d'échantillons pour des observations / analyses avec un microscope électronique à balayage (MEB) à haute résolution ou un microscope électronique à transmission (MET). Il permet de combiner la métallisation par pulvérisation cathodique ou l'évaporation de carbone dans le même système avec une tête de dépôt pour chacune de ces techniques. Ces têtes de dépôts sont interchangeables en une dizaine de secondes.

L'épaisseur des dépôts peut être contrôlée à l'aide d'une balance à quartz.

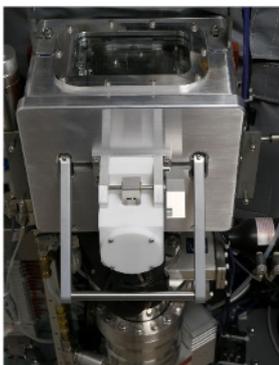
Ce système peut être utilisé par des personnels expérimentés, mais aussi par des débutants après une courte formation. En effet, des protocoles spécifiques pré-enregistrés et un écran d'aide contextuel complet facilitent la prise en main de l'équipement. De plus, le système détecte automatiquement la tête de dépôts en place et affiche les propriétés/protocoles appropriés.

Cette acquisition représente un investissement de 42 k€ (Région BFC : 27k€ + Service MEB : 15k€).

Contacts : Frédéric Herbst / Régis Parvaud

• Achat d'une platine chauffante/refroidissante pour XPS/HaXPS. La platine permet de travailler en température (-140/+250°C) depuis la chambre d'introduction jusqu'à la chambre d'analyse. Des premiers tests ont été réalisés sur des argiles (département INTERFACES). Il est donc maintenant possible de réaliser des mesures à 10⁻⁸ Pa sur des échantillons biologiques hydratés.

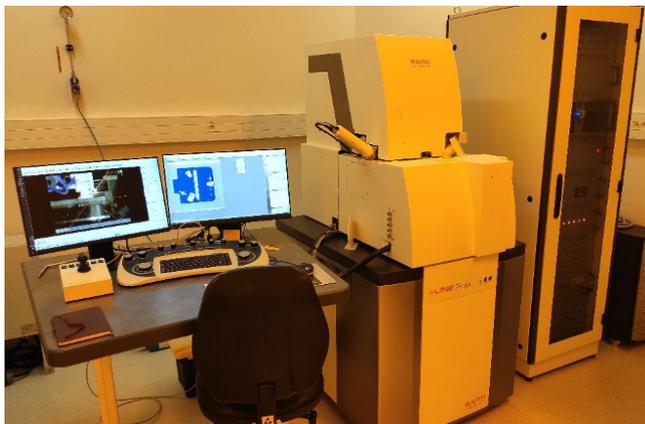
Cette acquisition représente un investissement de 79 k€ supporté par les projets PRODHYG (EUR EIPHI) et OPTYMAL (ANR).



Contacts : Olivier Heintz / Anna Krystianiak

Centre de NanoFabrication (CNF)

• Achat d'un masqueur électronique RAITH modèle eLine-plus. Il permet de réaliser des lithographies avec une résolution inférieure à 10 nm. Plusieurs projets utilisent cet outil pour fabriquer, par exemple, des nanostructures plasmoniques ou des circuitries photoniques sur puce (guides d'onde intégrés). C'est le cas des projets européens en cours NEBULA, PLASMONIAC, AMBROSIA, GRACED, des projets ANR ELECTRODE, DALHAI, NAC-NIP, ou encore de la collaboration industrielle ICB/ NAPA technologiques.



Les nouveautés sur ce modèle sont la présence de nano-manipulateurs équipés de pointes métalliques pouvant être utilisées par exemple pour appliquer une tension électrique sur l'échantillon, mais aussi le module 'Traxx' permettant l'écriture de motifs très étendus (centimètres) sans raccord de champ, un atout considérable pour toutes les activités de guides photoniques intégrés.

Cette acquisition représente un investissement de 890.6 k€ (Région BFC : 720k + iSite 4DMETA: 140k + vente Pioneer: 40k€).

- Le Centre de NanoFabrication (CNF) d'ARCEN-Carnot et NAPA Technologies (société spécialisée dans la lithographie par nano-impression (NIL) localisée en Savoie) ont démarré en 2023 une collaboration portant sur la conception de méthodes de nanofabrication et sur la fabrication de moules maitres NIL destinés à différentes applications (notamment photonique guidée, métasurfaces, microfluidique, fonctionnalisation de surfaces).

Contact : Laurent Markey

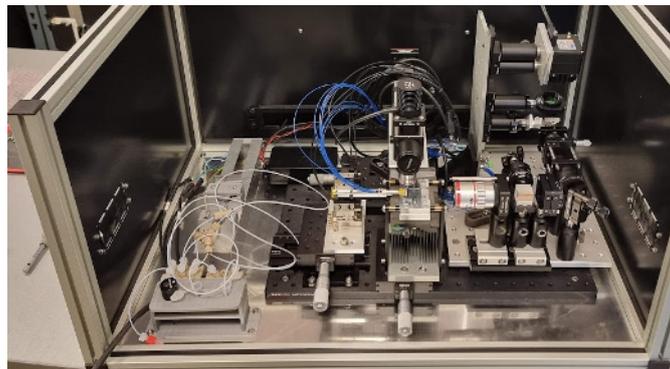
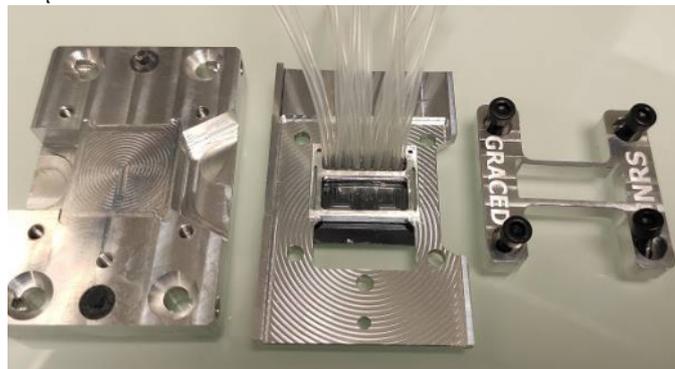
- Les 11 et 12/10/2023, le CNF a organisé à Dijon les « journées Dépôts 2023 » du réseau national des nanotechnologies RENATECH+ du CNRS. Une quarantaine d'ingénieurs, techniciens et chercheurs membres de ce réseau ont échangé sur les dernières avancées sur le dépôt de couches minces.

Contacts : Aurore Andrieux et Isabelle Gallet

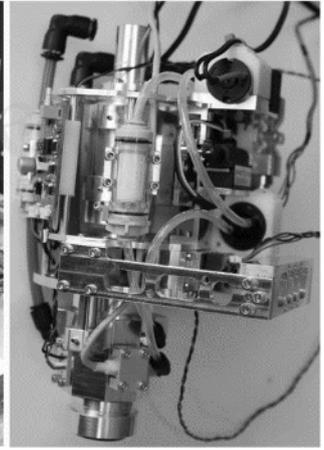
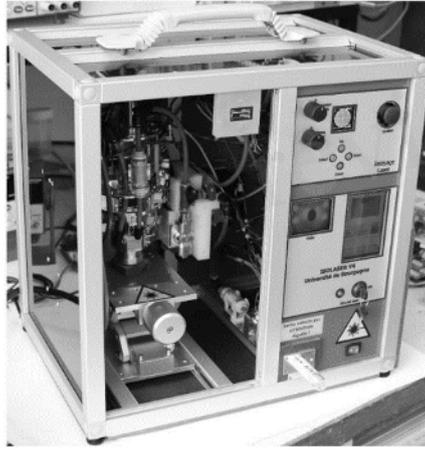
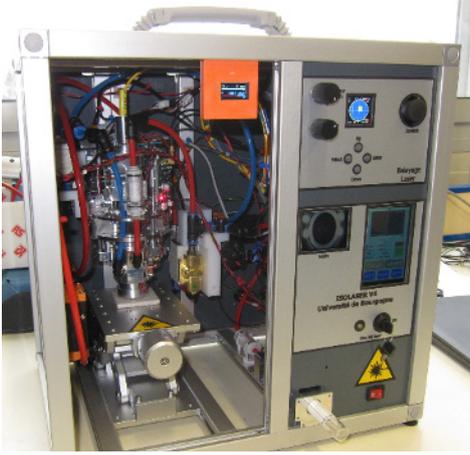
Centre de Ressources Mécaniques (CRM)

Le CRM réalise de nombreux systèmes pour les chercheurs du Laboratoire et des partenaires extérieurs. Voici deux réalisations notables en 2023 :

- Modules opto-mécano-microfluidique d'alignement d'une puce plasmaphotonique, de canaux microfluidiques et d'une carte électronique de type PCB. C'est une réalisation dans le cadre du projet Européen H2020 ICT GRACED impliquant notamment Laurent Markey (CNF) dans le domaine de la microfluidique.



- Olfactomètres et deux systèmes laser pour l'étude de la calcination des carbonates et l'analyse isotopique du carbone et de l'oxygène. Ce sont des réalisations pour le département Photonique (Olivier Musset).



Contacts : Brice Gourier, Julien Lopez

PLATEFORME TomoXpert

Co-Directeurs

Jean-Christophe KNEIP, *Jean-Christophe.Kneip@u-bourgogne.fr*

François HENNEBELLE, *Francois.Hennebelle@u-bourgogne.fr*

La plateforme TomoXpert rassemble les compétences et matériels des laboratoires ICB et DRIVE, dans le domaine du contrôle non destructif (CND) des matériaux et des structures. Elle est intégrée au consortium GIS CND LAB', comprenant 17 partenaires fondateurs (acteurs ou utilisateurs industriels du CND, centre d'essais ou de recherches pour le CND, laboratoires universitaires (ICB, DRIVE), institutionnels, pôle de compétitivité, ...), dont le plateau technique est en cours de mise en place sur le site de Chalon/Saône. L'ICB, associé à Sayens, est pilote du projet CND LAB', qui sera complètement opérationnel à partir de mars 2024.

FAITS MARQUANTS



Participations à des Projets

- AAP UB Plateformes
- Projet TREMP LIN – ICB-CNRS
- Accueil de 3 stagiaires de Master 1, dans le cadre de projets tutorés, sur le thème du CND par Thermographie active laser, pour la recherche de défauts sous-jacents dans des assemblages métalliques

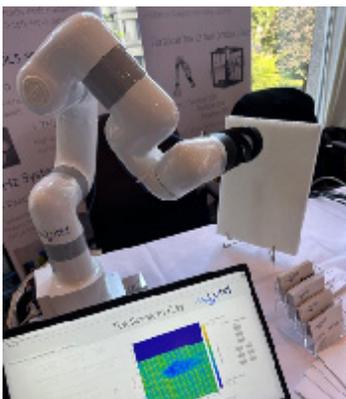
Parc installations CND sur le site de Chalon/Saône

Finalisation et automatisation d'installations de CND par thermographie active

- Avec l'aide de Stéphane Pernot (Laboratoire ICB, Dijon)
- Installations automatisées de sollicitations thermiques Flash-Modulées-Laser

Projet Tremplin

- Réception et mise en place d'installations (juin - décembre 2023)
- Système d'acquisition multivoies pour le CND
- Chaîne d'acquisition/Marteau Choc/Accéléromètre



AAP UB Plateformes

- Réception et mise en place des installations CND (décembre 2023)
 - 1- Système d'acquisition pour la tomographie acoustique des Métaux-Bois-Composites.
Carte d'acquisition / Transducteurs / Microphones / Accéléromètres
 - 2- Système d'acquisition automatisé pour la tomographie électromagnétique par ondes TéraHertz pour le bois et matériaux composites polymères imageur tri-dimensionnel Sub TéraHertz point par point contrôlé par bras robotisé collaboratif 6 axes.

Communications en lien avec TomoXpert

2023 – Journées Nationales de la Confédération Française pour les Essais Non Destructifs, Marseille, Palais Chanot, 6 au 8 juin 2023 :

- 1 Communication Poster Présentation TomoXpert - CND LAB'
- 1 Communication orales :

S. Hamdi, J. Kneip, J. Jouvard, A. Afandi, S. Hadj-kaddour, Imagerie 3D par capteurs à ondes millimétriques pour le contrôle non destructif des assemblages en bois.

JOURNEES COFREND 2023 – Marseille du 6 au 8 juin 2023, e-Journal of Nondestructive Testing - ISSN 1435-4934 - www.ndt.net

En prévision

2024 – Congrès EWSHM 2024 – « 11th European Workshop on Structural Health Monitoring », Postdam Allemagne – 10 au 13 juin 2024

3 communications orales:

- 1- HAMDI S.E., DIAKHATE M., KNEIP J.C. & col., "Machine Learning-Enabled Acoustic Emission Signal Processing for real-time crack growth monitoring in heterogeneous structures".
- 2- HAMDI S.E., KNEIP J.C., JOUVARD J.M. & col., "Robotic-based terahertz spectroscopy imaging for non-destructive monitoring of water loss-induced damage in timber materials under low temperature stress".
- 3- HAMDI S.E., KNEIP J.C., HAMDI Z. & col., "Enhancing Infrared tomography Imaging Through Machine Learning-Enabled Signal Processing and Image Analysis".



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 :

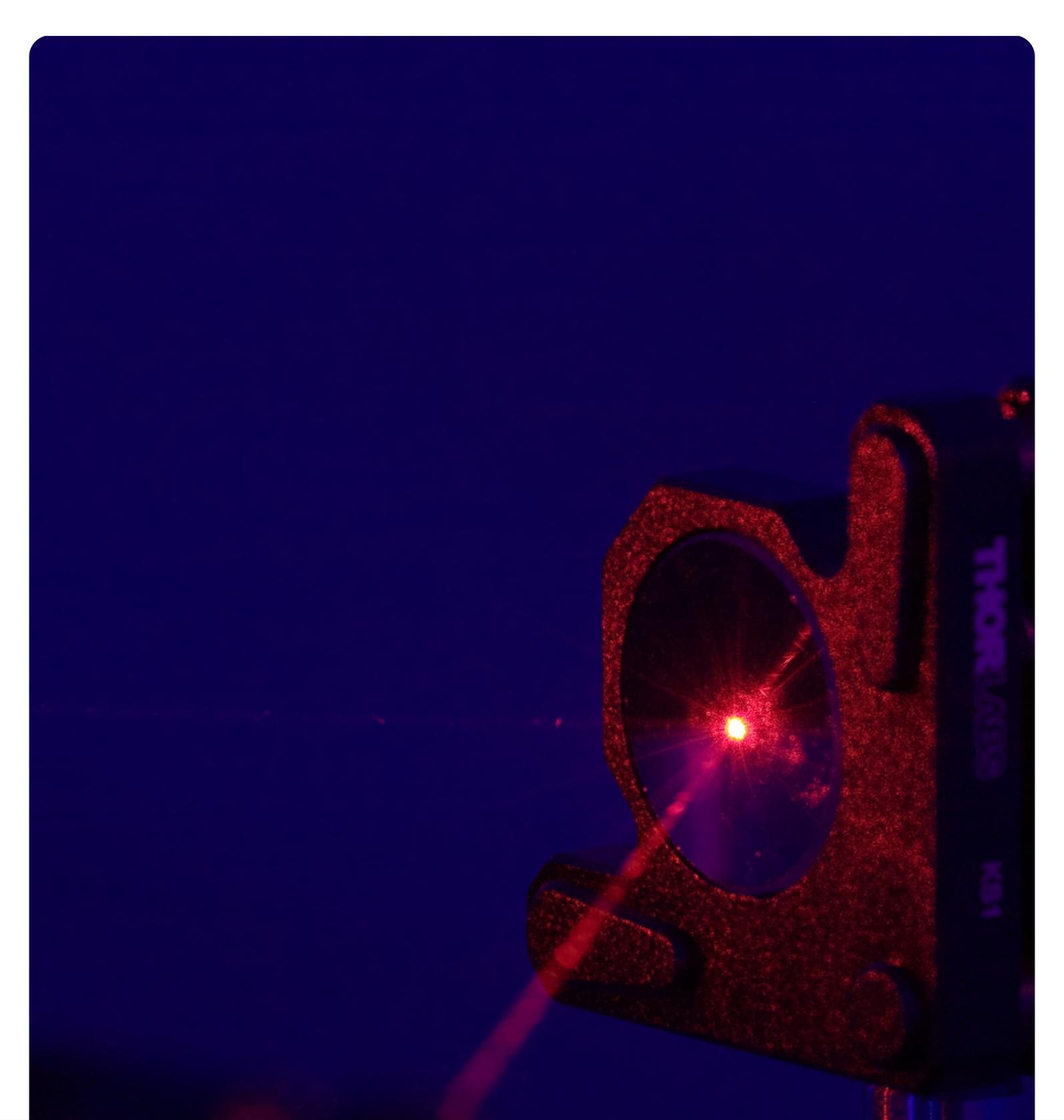
Service communication du Laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne.

Vincent Arbelet - photographe.

Edouard Barra - photographe.

Impression : S2E impressions

Date de publication : Janvier 2024



Plateforme SMARTLIGHT
© Laboratoire ICB

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

