

FOCUS 2021

Une année au cœur du
Laboratoire d'analyse
et d'architecture des systèmes
du CNRS



Direction de la publication
Direction de la rédaction
Rédaction en chef

Mohamed Kaâniche
Anne Hémercyck, Thierry Leïchlé, Liviu Nicu
Anne Hémercyck, Marie-Laure Pierucci

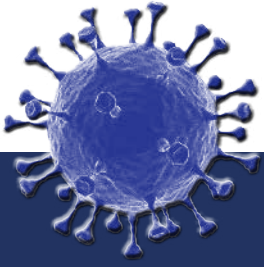
Rédaction

Alexandre Arnoult, Gilles Bailly, Aurélien Bancaud, Henri Camon, Juan Cortès, Étienne Dague, Silvano Dal Zilio, Alain Estève, Katia Grenier, Anne Hémercyck, Félix Ingrand, Simon Lacroix, Florent Lamiroux, Guilhem Larrieu, Luiz Lavado Villa, Aziliz Lecomte, Thierry Leïchlé, Olivier Llopis, Laurent Malaquin, Inès Massiot, Antoine Monmayrant, Vincent Nicomette, Dimitri Peaucelle, David Pech, Vincent Raimbault, Carole Rossi, Georges Soto-Romero, Olivier Stasse, Jean-Guy Tartarin, Gilles Trédan, Bastien Venzac, Bruno Watier

Conception graphique &
mise en page

Dominique Daurat

Éditorial



C'est avec un grand plaisir que j'écris ce premier éditorial du focus annuel du LAAS-CNRS depuis ma prise de fonction à la direction du laboratoire en janvier 2022. Je profite de cette occasion pour rendre hommage à mon prédécesseur, Liviu Nicu, qui a lancé cette brochure en 2018 à l'occasion du 50^e anniversaire du laboratoire. C'est un vecteur idéal pour partager avec vous des faits marquants couvrant différents aspects de l'activité du laboratoire durant l'année écoulée : résultats scientifiques de premier plan illustrant des avancées significatives de nos recherches, distinctions et divers prix obtenus en reconnaissance de la qualité de nos scientifiques et nos travaux, lancement de nouveaux projets et collaborations industrielles ou encore organisation d'événements.

Le focus 2021 témoigne d'une activité très riche du laboratoire, en dépit de la période de pandémie qui a perturbé nos modes de fonctionnement. Au-delà des nombreuses avancées scientifiques publiées dans des journaux et conférences à fort impact dans nos différents domaines, je voudrais mettre en avant la médaille de Bronze du CNRS de notre collègue, Mioara Joldes, chargée de recherche CNRS au sein de l'équipe ROC (Recherche opérationnelle, optimisation combinatoire et contraintes), obtenue pour ses travaux de recherche sur le calcul numérique certifié. Cette distinction récompense l'originalité, la qualité et l'importance de ses travaux, et leur reconnaissance sur le plan national et international.

Un autre fait marquant qui témoigne de l'importance pour le LAAS-CNRS de développer des partenariats industriels forts et durables sur le long terme concerne notamment le lancement de deux nouveaux laboratoires communs : EPICENTRE, avec RIBER, qui permettra de développer des technologies avancées d'épitaxie par jet moléculaire, et OPALE, qui concrétise une collaboration réussie avec ESSILOR depuis plus de dix ans pour développer des composants optoélectroniques innovants et des technologies embarquées pour des lunettes instrumentées dans le domaine de l'optique active pour le contrôle de la vision.

Le LAAS-CNRS s'est toujours investi dans la mise en place de plateformes technologiques en réseau et d'équipements de recherche structurants (EQUIPEX) à forte visibilité nationale et internationale. Deux nouveaux EQUIPEX sont venus enrichir en 2021 la liste de nos projets de ce domaine. NANOFUTUR réunissant 12 laboratoires a l'ambition de s'attaquer aux nouveaux défis de la nanotechnologie en s'appuyant sur le développement des moyens au sein du réseau Renatech+. La contribution du LAAS-CNRS porte sur le développement de dispositifs appliqués aux sciences de la vie (dispositifs intégrés dédiés au diagnostic, à l'analyse médicale, systèmes pour la modélisation des systèmes vivants). Le deuxième projet est TIRREX qui rassemble 19 acteurs majeurs de la robotique en France. Notre participation porte sur la spécification et le développement collectif d'un nouveau robot humanoïde permettant de repousser les limites des champs scientifiques de la génération de mouvements, la perception de l'environnement et l'interaction physique et cognitive.

Malheureusement, l'année 2021 a aussi été marquée par le décès brutal de deux collègues du LAAS-CNRS auxquels je voudrais rendre hommage : Jean-Paul Laumond, chercheur exceptionnel et l'un des précurseurs de l'algorithmique du mouvement en robotique, qui a contribué au rayonnement international de la recherche scientifique en robotique humanoïde du LAAS et du CNRS, avant de rejoindre l'INRIA, au meilleur niveau pendant plus de 30 ans. Nous avons perdu aussi brutalement notre collègue Xavier Bouquet, technicien au sein du service Instrumentation, conception, caractérisation. À travers lui et ses contributions au laboratoire, je voudrais rendre hommage à tous les ingénieurs, techniciens et personnels administratifs qui apportent un support essentiel à la recherche, et sans qui le LAAS-CNRS ne pourrait pas remplir ses missions premières d'avancée des connaissances, de valorisation et de diffusion de la culture scientifique et technique.

Je vous souhaite une agréable lecture de ce nouveau numéro du Focus.

Mohamed Kaâniche, directeur du LAAS-CNRS

Sommaire

◆	<u>Le LAAS-CNRS en chiffres</u>	6
◆	<u>Focus scientifique</u>	9
◆	<u>Distinctions</u>	21
◆	<u>Projets nationaux & internationaux</u>	27
◆	<u>Collaborations industrielles</u>	33
◆	<u>Diffusion de la culture scientifique</u>	37

Le LAAS-CNRS en chiffres

Le **Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes** (LAAS-CNRS, UPR8001, www.laas.fr) est une unité propre du CNRS rattachée à l'**Institut des sciences de l'informatique et de leurs interactions** (INS2I) et à l'**Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes** (INSIS).

2 instituts



Situé à Toulouse, il est associé aux six membres fondateurs de l'Université fédérale de Toulouse Midi-Pyrénées



4 domaines scientifiques

Quatre domaines scientifiques majeurs sont plus particulièrement étudiés : l'**automatique**, l'**informatique**, la **robotique** et les **micro/nanosciences**.

En plaçant la notion de « **Systemes** » au centre de ses intérêts, les travaux menés au LAAS-CNRS concernent finalement les systèmes répartis à large échelle, les systèmes autonomes à infrastructures critiques, les systèmes mobiles, les systèmes embarqués, les systèmes intégrés, les micro- et nano-systèmes, les systèmes biologiques...

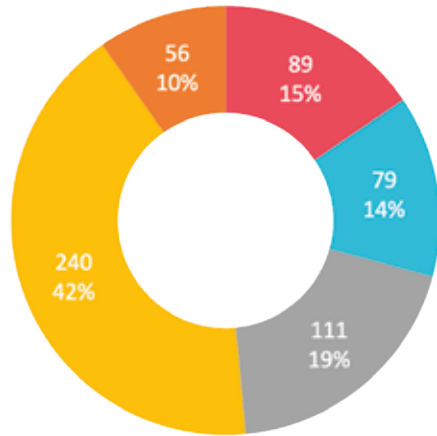
Ils visent des champs d'applications variés tels que : l'aéronautique, l'espace, l'énergie, les transports et les mobilités, les télécommunications, la santé, l'agro-alimentaire, l'environnement, la productique et l'industrie du futur, la défense...





Personnel

env 575, dont :



■ ITA - ingénieures, techniciennes
 ■ enseignant:e:s chercheur:e:s
 ■ CDD chercheur:e:s/ITA contractuelle:s

■ chercheuse:s CNRS
 ■ doctorant:e:s/post-doctorant:e:s



21000 m² de surface bâtie

Budget consolidé

65 M€



45 nationalités représentées



Production scientifique :

401 revues & conférences internationales
13 ouvrages ; 42 thèses soutenues, 2 HDR

5 ■ axes transverses applicatifs

6 ■ départements scientifiques

25 ■ équipes

10 ■ services communs



5

plateformes technologiques



297 contrats en cours

17 projets européens, dont 2 ERC,

4 projets Région sur fonds européens

2 projets H2020 en coordination

3 laboratoires communs avec l'industrie

2021

FOCUS SCIENTIFIQUE

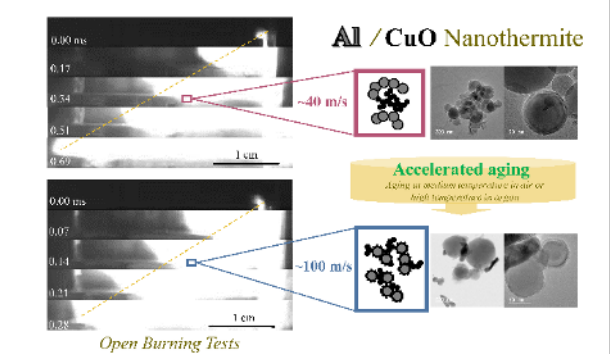




Ambivalence des effets de vieillissement en température sur les nanothermites en poudre

Cette étude expérimentale sur le vieillissement thermique de quatre systèmes nanothermites à base d'aluminium, choisies parmi les plus largement utilisées dans les applications (Al/CuO , $\text{Al}/\text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{Al}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ et $\text{Al}/\text{Co}_3\text{O}_4$) a permis de conclure que les systèmes nanothermites sont thermiquement stables sur de très longues périodes (> 100 ans) lorsque stockés à des températures inférieures à 200°C .

Ce travail a aussi révélé la grande complexité des processus de vieillissement dans les nanothermites en poudre, couplant effets chimiques et nanostructuraux. En effet, nous avons observé qu'un séjour à température inférieure à 400°C provoque certes une diminution du réservoir énergétique, mais également une modification de la morphologie et de la composition de l'interface entre l'Al et l'oxydant (Fe_2O_3 et CuO) qui s'avère avoir un impact plus important sur la réactivité du système vieilli compensant alors la perte de réservoir énergétique.



Contact : Carole Rossi, carole.rossi@laas.fr, équipe NEO

En savoir plus : *Unexpected enhanced reactivity of aluminized nanothermites by accelerated aging*, T. Wu, G. Lahiner, C. Tenailleau, B. Reig, T. Hungria, A. Estève, C. Rossi, Chemical Engineering Journal, 418, 129432 (2021).

L'apport des électrodes poreuses pour le micro-stockage de l'énergie

Bien qu'elles fassent l'objet d'un nombre important de travaux, les microbatteries restent encore aujourd'hui limitées par leur faible puissance et leur faible durée de vie, tandis que les micro-supercondensateurs peinent à augmenter leur densité d'énergie. Afin d'accroître les performances pour une empreinte surfacique limitée au sein d'un circuit électronique (puissance en W/cm^2 , énergie en J/cm^2 et durée de vie), une architecture tridimensionnelle de l'électrode s'impose.

Cette approche a été développée par l'équipe NEO pour diminuer l'épaisseur du matériau faradique des microbatteries et fortement augmenter leur puissance et leur durée de vie. Pour les micro-supercondensateurs, l'architecture poreuse leur a permis de déposer le matériau pseudocapacitif sur une surface exposée extrêmement élevée, et donc augmenter grandement leur densité d'énergie. Toutes les étapes impliquées dans la synthèse de ces électrodes poreuses ont été réalisées par voie électrochimique à faibles températures et sont compatibles avec les procédés de microfabrication.

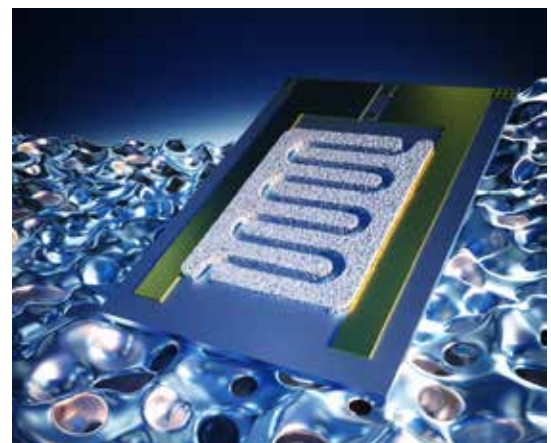


Illustration d'un microdispositif interdigitée (microsupercondensateur ou microbatterie) à base d'électrodes poreuses.

Contact : David Pech, david.pech@laas.fr, équipe NEO

En savoir plus : *Low temperature deposition of highly cyclable porous Prussian Blue cathode for Li-ion microbattery*, S.G. Patnaik, D. Pech, Small, 17, 2101615 (2021). *Porous RuOxNySz electrodes for microsupercapacitors and microbatteries with enhanced areal performance*, S.G. Patnaik, J.S. Seenath, D. Bourrier, S. Prabhudev, D. Guay, D. Pech, ACS Energy Letters, 6, 131-139 (2021).

Un procédé innovant de fabrication d'aimants miniaturisés basé sur l'assemblage dirigé de nanoparticules

L'intégration d'aimants sur puce est d'une importance capitale pour la réalisation de dispositifs portables conçus pour les télécommunications, l'automobile, les applications biomédicales et spatiales. À l'heure actuelle, les aimants macroscopiques les plus performants sont à base de terres rares et obtenus par des

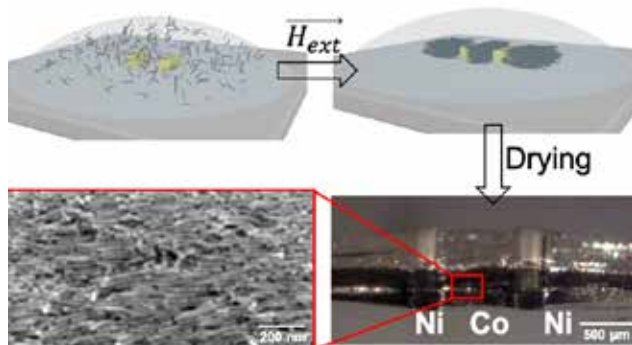


Illustration du procédé d'assemblage de particules de cobalt à l'aide de forces capillaires assistées par magnétophorèse. En bas : vue de bâtonnets de cobalt déposés après évaporation (gauche), de telle sorte à constituer un microaimant entre deux plots de nickel (à droite).

procédés métallurgiques qui ne peuvent répondre aux problématiques d'intégration et de miniaturisation. Pour répondre à ce défi, nous avons développé une méthode de conception d'aimants miniaturisés basée sur l'assemblage de briques élémentaires, à la façon d'un jeu de construction. Notre approche repose sur l'évaporation sous champ magnétique d'une suspension de nanobâtonnets de cobalt. Ce procédé économique et rapide permet de fabriquer des aimants qui offrent des propriétés magnétiques permettant de combler l'écart entre les ferrites, peu coûteuses, et les aimants à base de terres rares, plus performants.

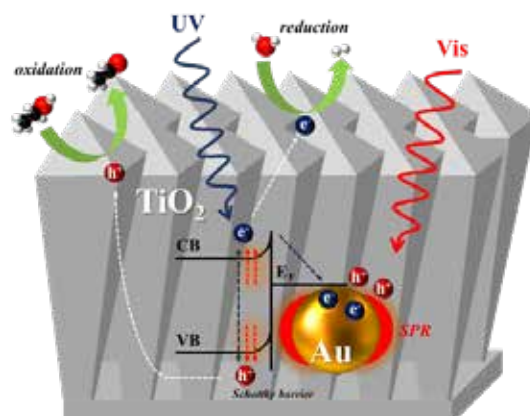
Contact : Thierry Leichlé, thierry.leichle@laas.fr, équipe MEMS

En savoir plus : *Magnetophoresis-Assisted Capillary Assembly: A Versatile Approach for Fabricating Tailored 3D Magnetic Supercrystals*. P. Moritz, A. Gonon, T. Blon, N. Ratel-Ramond, F. Mathieu, P. Farger, J.-M. Asensio-Revert, S. Cayez, D. Bourrier, D. Saya, L. Nicu, G. Viau, T. Leichle, L.-M. Lacroix, ACS Nano (2021).

Révéler les mécanismes à l'œuvre à l'interface métal/TiO₂ lors d'une irradiation sous UV et visible pour la production d'hydrogène par photocatalyse

L'étude met en évidence un effet de synergie sur le rendement en production d'hydrogène (100 % d'augmentation) de nanostructures photocatalytiques hybrides composées de nanoparticules d'or et de films minces de TiO₂, lié à l'effet conjugué d'irradiations couvrant les spectres UV et visible. Le rayonnement visible induit un champ électrique oscillant (oscillation plasmon) aux interfaces des nanoparticules d'or/TiO₂, qui transmet de l'énergie aux électrons générés par les UV au niveau du semiconducteur, augmentant de facto leur niveau d'excitation et vraisemblablement leur nombre dans cet état chaud. En considérant aussi l'effet de séparation de charges au niveau de la barrière Schottky à l'interface or/TiO₂, la chimie de dissociation des molécules d'eau en surface est exaltée.

Le travail proposé étudie également le positionnement des nanoparticules d'or au sein de la nanostructure afin de maximiser les effets plasmoniques. Nous démontrons que des particules enterrées permettent un meilleur couplage des phénomènes par rapport aux systèmes classiquement proposés de nanoparticules en mélanges (poudres mixées), ou en surfaces de films minces. Ce résultat montre que le contact entre les molécules d'eau et les nanoparticules n'est pas nécessaire pour réaliser la dissociation, comme cela est parfois admis dans la littérature.



Contact : Alain Estève, alain.esteve@laas.fr, équipe NEO

En savoir plus : *On the UV-visible light synergetic mechanisms in hybrid Au/TiO₂ model-nanostructures achieving photo-reduction of water*, M.-I. Mendoza-Diaz, J. Cure, M. Djafari Rouhani, K. Tan, S. Gourang Patniak, D. Pech, M. Quevedo-Lopez, T. Hungria, C. Rossi, A. Estève, (2021).



Des drones pour l'observation de l'atmosphère

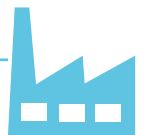
Pour affiner les modèles des phénomènes atmosphériques, et donc améliorer les prévisions, les scientifiques de l'atmosphère ont besoin de nombreuses données. Contrairement aux techniques d'observation par satellite ou depuis le sol, une flotte de micro-drones permet d'acquérir des données in situ et synchronisées. Surtout, son contrôle permet d'adapter la collecte de données au phénomène observé. Cet article étudie différentes stratégies d'acquisition de données pour l'observation d'un cumulus : il démontre l'importance pour optimiser les données collectées de réaliser des schémas d'échantillonnage adaptatifs, qui exploitent une carte construite en temps réel du nuage exploré. Ces travaux ont mené à la réalisation d'une campagne d'acquisition de données à la Barbade en janvier 2020.



Trajectoires deux drones autonomes pour l'échantillonnage d'un cumulus

Contact : Simon Lacroix, simon.lacroix@laas.fr, équipe RIS

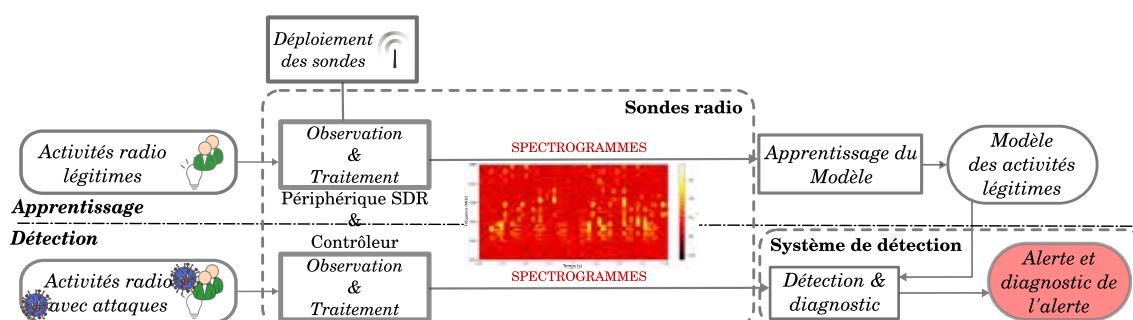
En savoir plus : *Use of large-eddy simulations to design an adaptive sampling strategy to assess cumulus cloud heterogeneities by remotely piloted aircraft*, N. Maury, G.C. Roberts, F. Couvreur, T. Verdu, P. Narvor, N. Villefranque, S. Lacroix, G. Hattenberger, Atmospheric Measurement Techniques, 15, 2, 335-352 (2022).



Détection d'intrusion basée sur l'analyse des communications radios pour l'Internet des Objets

Les objets connectés souffrent aujourd'hui de nombreuses vulnérabilités et constituent des nouvelles cibles de choix pour les attaquants. Malheureusement, les architectures classiques de sécurité sont mal adaptées pour faire face à ces attaques dans ces environnements dynamiques et hétérogènes où les objets sont souvent mobiles.

Ce travail de recherche, objet de la thèse de Jonathan Roux, s'est intéressé à la détection d'anomalies pouvant survenir sur les moyens de communications sans-fil utilisés dans l'Internet des Objets. L'approche proposée est basée sur la supervision des signaux radios physiques. L'objectif est ainsi d'apprendre, à l'aide de réseaux de neurones, le modèle des comportements radios légitimes collectés au moyen de sondes radios, puis d'identifier les déviations vis-à-vis de ce modèle, afin de détecter et diagnostiquer des attaques.

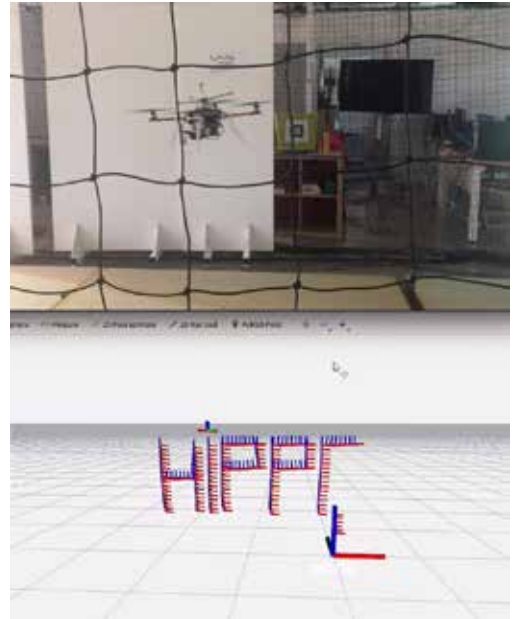


Contact : Vincent Nicomette, vincent.nicomette@laas.fr, équipe TSF

En savoir plus : *RIDS: Radio intrusion detection and diagnosis system for wireless communications in smart environment*, P.-F. Gimenez, J. Roux, E. Alata, G. Auriol, M. Kaâniche, V. Nicomette (2021).

Une approche intégrée pour modéliser, vérifier et exécuter les applications robotiques

Les logiciels peuvent nous faciliter la vie, mais un bug peut avoir des conséquences désastreuses ; c'est d'autant plus vrai pour les logiciels utilisés en robotique, que ce soit pour une machine au contact du public ou dans un système qui doit opérer en complète autonomie, éventuellement loin de toute surveillance possible. Pour répondre à ces problèmes, nous développons depuis quelques années une nouvelle chaîne d'outils, résultat du mariage entre plusieurs technologies du LAAS-CNRS : le langage de composants robotique GenoM, les outils de vérification formelle de l'équipe Vertics et un nouveau moteur d'exécution temps-réel, dénommé Hippo. Nos derniers travaux donnent des informations sur l'utilisabilité et les performances de cette approche, pour une application de taille réelle. Ils démontrent également la richesse des propriétés que nous pouvons vérifier sur un tel système.



Contacts : Silvano Dal Zilio, dalzilio@laas.fr, équipe Vertics et Félix Ingrand, felix@laas.fr, équipe RIS
En savoir plus : *Hippo: A Formal-Model Execution Engine to Control and Verify Critical Real-Time Systems*, P.-E. Hladik, F. Ingrand, S. Dal Zilio and R. Tekin, Journal of Systems and Software 181 (2021).

Planification de mouvements de manipulation : de la théorie à l'implémentation



Cet article décrit une plateforme logicielle libre ainsi que la théorie sous-jacente.

Cette plateforme a pour but de calculer automatiquement des mouvements de manipulation sans collision pour des robots afin de déplacer des objets. Par exemple, sur l'image jointe, un robot humanoïde doit saisir un objet parallélépipédique posé sur une table et le retourner. Cette action apparemment simple nécessite beaucoup de calculs pour un ordinateur. D'abord parce que le mouvement en question comporte nécessairement un changement de prise d'une main vers l'autre et l'algorithme doit découvrir cette séquence d'actions. Ensuite, les corps du robot sont modélisés par des maillages avec beaucoup de triangles. Tester la collision d'une trajectoire candidate demande donc une quantité très importante de calculs.

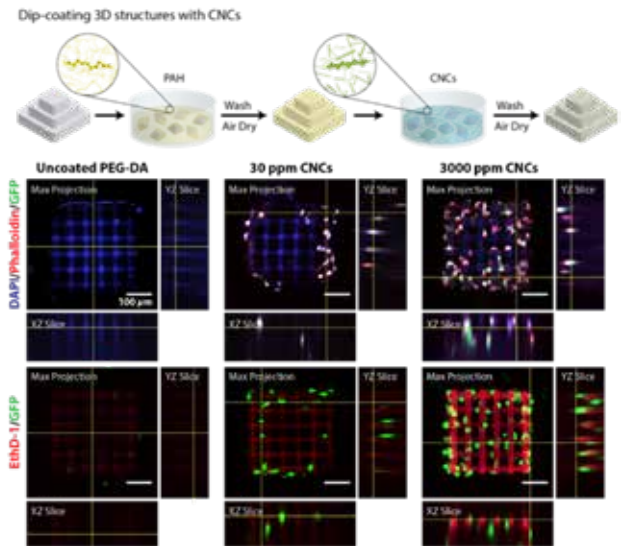
Enfin, ces trajectoires vivent dans des espaces de grande dimension, environ 40 dans cet exemple.

Contact : Florent Lamiroux, florent.lamiroux@laas.fr, équipe Gepetto
En savoir plus : *Prehensile Manipulation Planning: Modeling, Algorithms and Implementation*, F. Lamiroux, J. Mirabel, IEEE Transactions on Robotics (2021).



Nanocristaux de cellulose et impression 3D pour la création de supports nanostructurés et fonctionnalisés pour la culture cellulaire

Dans ce travail réalisé en collaboration entre l'équipe de J. Mirabal (Mc Master, Canada) et l'équipe ELiA, la nanotopographie et la fonctionnalité d'échafaudages 3D réalisés par impression 3D haute résolution ont été modifiées par l'utilisation de nanocristaux de cellulose (CNC) fonctionnalisés. Ce procédé a été validé et caractérisé sur plusieurs familles de matériaux photo-sensibles utilisés pour l'impression 3D haute résolution. Il permet d'introduire une fonctionnalisation à la surface de ces échafaudages, soit en les couvrant directement de CNC greffés avec des biomolécules d'intérêt, soit avec une approche plus générale consistant à fonctionnaliser les CNC en utilisant le couplage biotine-streptavidine. La simplicité et la polyvalence de l'approche ont été validés par la culture de lignées cellulaires et ouvrent des perspectives importantes pour le contrôle des propriétés de surface de microenvironnements de culture in vitro.

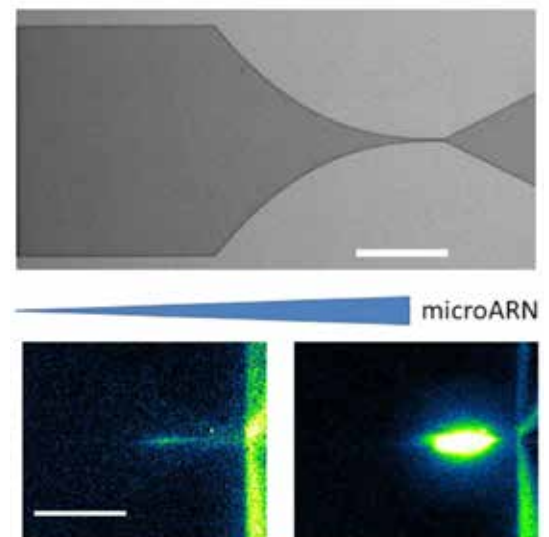


Contact : Laurent Malaquin, laurent.malaquin@laas.fr, équipe ELiA

En savoir plus : *Tuning the Nanotopography and Chemical Functionality of 3D Printed Scaffolds through Cellulose Nanocrystal Coatings*, M. Babi, R. Riesco, L. Boyer, A. Fatona, A. Accardo, L. Malaquin, J. Moran-Mirabal, ACS Appl. Bio Mater, 4 (12), 8443–8455 (2021).

µLAS pour la détection de biomarqueurs micro-ARN dans des échantillons cliniques

Les courts fragments d'ARN, dits micro-ARN, que l'on peut détecter à partir d'un prélèvement sanguin constituent des biomarqueurs de choix pour la médecine personnalisée, car il est établi que leur concentration est fortement altérée chez les patients atteints de cancer. Le LAAS-CNRS, en collaboration avec le Centre de recherche en cancérologie de Toulouse (CRCT), a mis œuvre la technologie µLAS de détection rapide et sensible de ces molécules permettant d'atteindre une sensibilité de 2 pM (picomole/L) en 30 secondes, ce qui représente un compromis très favorable entre rapidité de mesure et sensibilité. Utilisée sur des échantillons cliniques, la technologie a montré des résultats cohérents avec ceux obtenus par la méthode de référence (RT-PCR). Ce travail contribue à renforcer et à pérenniser les liens entre le LAAS-CNRS et le CRCT.



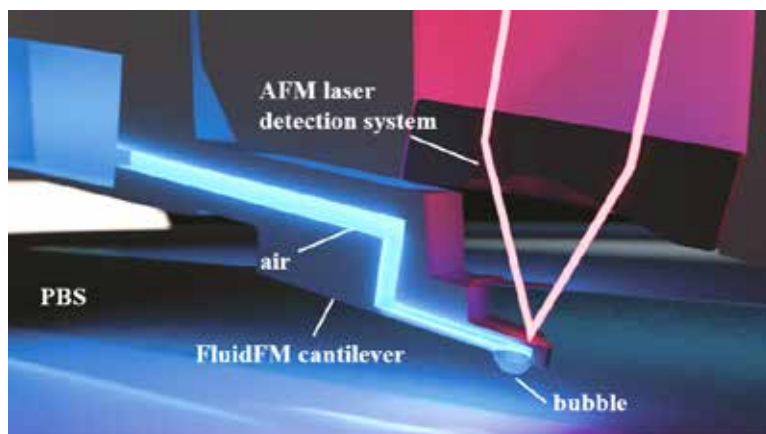
Le panneau représente un cliché de microscopie en lumière blanche de la puce microfluidique µLAS. Les deux images en dessous correspondent à des micrographes en fluorescence obtenus avec des concentrations croissantes de micro-ARN. Les barres d'échelle correspondent à 200 µm.

Contact : Aurélien Bancaud, aurelien.bancaud@laas.fr, équipe MILE

En savoir plus : *micro-RNA 21 detection with a limit of 2 pM in 1 min using a size-adjustable concentration module operated by electrohydrodynamic actuation*, I. Tijunelyte, R. Malbec, B. Chami, J. Cacheux, C. Dez, T. Leichlé, P. Cordelier, A. Bancaud, Biosensors and Bioelectronics, 178 (2021).

Contrôler les bulles pour comprendre leurs interactions avec les microorganismes

Les interactions entre bulles d'air et microorganismes jouent un rôle essentiel pour leur fonctionnement, et influencent leur mouvement dans les milieux. Afin de comprendre ces interactions, nous avons développé une méthode combinant la microscopie à force atomique et la microfluidique (FluidFM) pour produire des microbulles d'air stables dont la surface peut être fonctionnalisée. Pour cela, des leviers contenant un canal microfluidique reliés à un générateur de pression sont remplis d'air puis immergés dans un liquide. Une pression positive appliquée dans le canal permet de former des bulles, dont la taille varie avec la pression. Des expériences de spectroscopie de force ont ensuite montré qu'il était possible de mesurer les interactions entre les bulles formées et des microorganismes vivants et que la fonctionnalisation des bulles permettait de moduler ces interactions.



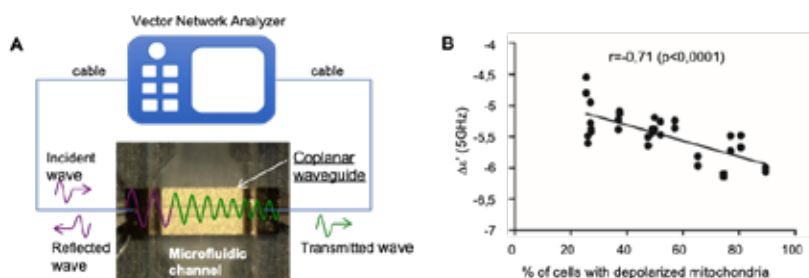
Contact : Étienne Dague, etienne.dague@laas.fr; équipe ELiA

En savoir plus : *Probing the interactions between air bubbles and (bio)interfaces at the nanoscale using FluidFM technology*, I. Demir, I. Luchtefeld, C. Lemen, E. Dague, P. Guiraud, T. Zambelli, C. Formosa-Dague, *Journal of Colloid and Interface Science*, 604, 785-797 (2021).

Nouvelle solution de détection non invasive et sans marquage de l'activité mitochondriale de cellules par ondes hyperfréquences

La bioénergétique mitochondriale contribue à d'importants processus biologiques et son dysfonctionnement sous-tend certaines maladies. Son évaluation nécessite néanmoins des méthodes invasives impliquant une coloration intracellulaire et des inhibiteurs chimiques lors de tests *in vitro* à l'échelle cellulaire.

En collaboration avec l'équipe du Professeur Jean-Jacques Fournié du Centre de recherche en cancérologie de Toulouse (CRCT) et dans le cadre d'un projet Plan Cancer Aviesan, l'équipe MH2F a montré que la spectroscopie diélectrique micro-ondes (0,4-40 GHz) constitue une nouvelle méthode d'analyse cellulaire non invasive et sans marquage pour détecter l'activité mitochondriale de cellules vivantes par leurs propriétés diélectriques. Elle détecte instantanément la dépolarisation mitochondriale induite par des médicaments ciblant les complexes de la chaîne de transport d'électrons ou lors des premiers événements du processus apoptotique, à partir d'une suspension cellulaire d'un seul microlitre. La technique d'analyse discrimine également les cellules cancéreuses ayant une activité mitochondriale élevée, aspect souvent lié à la résistance thérapeutique de cancers. Cette méthode d'analyse cellulaire non invasive et non destructive offre ainsi de nouvelles perspectives d'observation du vivant.

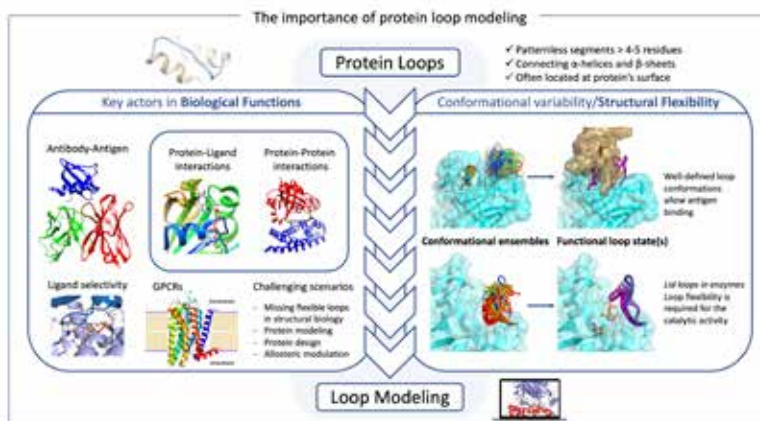


Contact : Katia Grenier, katia.grenier@laas.fr; équipe MH2F

En savoir plus : *Label-free detection of mitochondrial activity with Microwave Dielectric Spectroscopy*, G. Poiroux, D. Dubuc, M. Hosseini, F. Artis, A. Tamra, M. Tosolini, F. Pont, C. Bosc, E. Saland, F. Lopez, J.-J. Fournié, J.-E. Sarry, K. Grenier, M. Poupot, *International Journal of Biotechnology & Bioengineering*, 6, 5 (2020).

Approches actuelles de la modélisation des boucles flexibles dans les protéines

De nombreuses protéines comportent des régions flexibles, généralement appelées boucles, qui jouent des rôles fonctionnels clés. Par exemple, les boucles sont déterminantes pour la reconnaissance anticorps-antigène, ou modulent l'activité enzymatique. En raison de leur variabilité conformationnelle, l'étude des boucles est un défi pour la biologie structurale. Dans ce contexte, les méthodes computationnelles sont essentielles pour analyser et compléter les données expérimentales. Une revue graphique sur les approches computationnelles pour la modélisation des boucles flexibles a été récemment publiée dans le journal *Current Research in Structural Biology*. Ce nouveau format de publication a pour objectif de communiquer des informations sous une forme visuellement attrayante et d'être accessible à un large public scientifique. Le contenu peut être librement utilisé avec un but éducatif.



Contact : Juan Cortes, juan.cortes@laas.fr, équipe RIS

En savoir plus : *Current approaches to flexible loop modeling*, A. Barozet, P. Chacón, J. Cortés, *Current Research in Structural Biology*, 3, 187–191 (2021).

Une étude biomécanique permet de quantifier les paramètres liés aux risques de chute

Les derniers travaux de Bruno qui s'intitulent « *Segmental contribution to whole-body angular momentum during stepping* » ont récemment été publiés dans la revue *Scientific Reports*. Réalisés en collaboration avec l'Université de La Réunion, ils abordent les paramètres mécaniques permettant de prédire les risques de chute en particulier chez les personnes âgées. En étudiant les mouvements du système musculo-squelettique lors de tâches de locomotion, les chercheurs ont pu démontrer une augmentation critique de certaines quantités de la dynamique des sujets, comme le moment cinétique ou la distance entre le centre de masse des sujets et un axe représentatif des forces d'appui au sol. Ces indicateurs peuvent ainsi être considérés comme de puissants outils de prévention des chutes s'ils peuvent être quantifiés en temps réel.



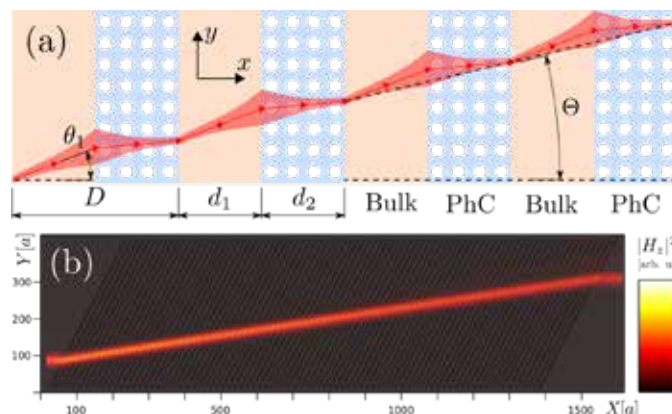
Contact : Bruno Watier, bruno.watier@laas.fr, équipe Gepetto

En savoir plus : *Segmental contribution to whole-body angular momentum during stepping in healthy young and old adults*, J. Begue, N. Peyrot, A. Lesport, N.A. Turpin, B. Watier, G. Dalleau, T. Caderby, *Scientific Reports* (2021).

Conception de cristaux photoniques à autocollimation mésoscopique sous incidence oblique

Lors de sa propagation dans un milieu homogène, un faisceau de lumière tend naturellement à se disperser. C'est pour cette raison que les guides optiques sont omniprésents, des communications optiques à grandes distances (fibres optiques) jusqu'aux applications de photonique intégrée (guides rubans ou à défaut photonique). Une alternative est d'utiliser un cristal photonique à autocollimation dont la structuration sub-longueur d'onde permet la propagation de faisceaux lumineux sans déformation.

Cependant, la structuration du matériau tend à dégrader ses performances intrinsèques. Une approche mésoscopique alternant sections de matériau massif et sections de cristaux photoniques répond à ce problème, au prix d'une conception multi-échelle et multi-paramètres complexe. Nous avons proposé une méthode de conception permettant l'exploration paramétrique rapide de ces structures, en éliminant très tôt les géométries à pertes. Cette méthode permet de concevoir des structures fonctionnant en incidence oblique, dont certaines sont par nature immunisées contre les pertes par coupage hors du plan.



(a) Principe de l'autocollimation mésoscopique en incidence oblique : l'étalement du faisceau dans le matériau massif (orange) est compensé par l'auto focalisation dans le cristal photonique (bleu) tandis que les réflexions parasites, la diffraction planaire et la diffraction hors du plan sont évitées. (b) Simulation FDTD-2D de la propagation dans une structure à autocollimation mésoscopique conçue par la méthode proposée.

Contact : Antoine Monmayrant, antoine.monmayrant@laas.fr, équipe PHOTO

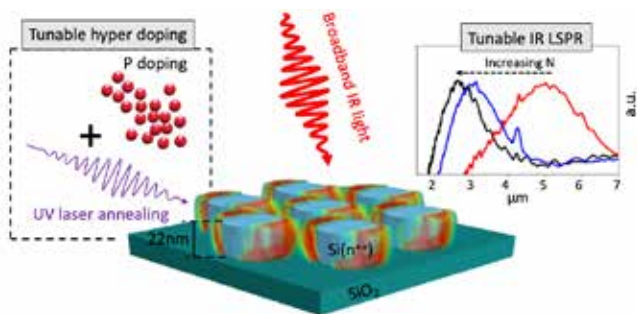
En savoir plus : *Design of mesoscopic self-collimating photonic crystals under oblique incidence*, S. I. Flores Esparza, O. Gauthier-Lafaye, D. Gauchard, G. Calò, G. Magno, V. Petruzzelli and A. Monmayrant, Opt. Express 29, 33380-33397 (2021).

Quand des nanostructures se dopent fortement

Des chercheurs de Toulouse (CEMES, LAAS-CNRS), en collaboration avec le CEA-LETI de Grenoble, ont réalisé des réseaux ordonnés de nanodisques en silicium hyper-dopé au phosphore, qui présentent une résonance plasmon de surface localisée. Ils ont utilisé une approche descendante qui consiste à optimiser le dopage de couches minces de silicium sur isolant au-delà des doses usuelles au moyen d'un recuit thermique par laser impulsif, avant de nanostructurer cette couche par une approche grande échelle, dans la salle blanche RENATECH du LAAS-CNRS, en réseaux hexagonaux denses de disques identiques et de tailles nanométriques. Ces nanostructures dopées présentent des résonances plasmon de surface localisées intenses, mesurées dans le moyen et proche

infrarouge par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier. La résonance plasmon est accordable dans une large fenêtre spectrale en ajustant la concentration en porteurs libres via le dopage en phosphore.

Ces résultats ouvrent des perspectives très prometteuses pour le développement de dispositifs plasmoniques intégrés tout silicium visant des applications nécessitant de la détection infrarouge à large bande et haute résolution, tels que des bolomètres micro-intégrés ou des caméras infrarouge miniaturisées.



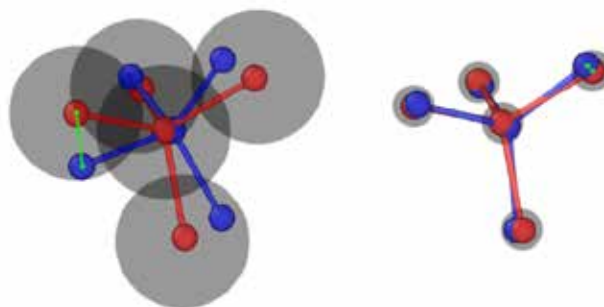
Contact : Guilhem Larrieu, guilhem.larrieu@laas.fr, équipe MPN

En savoir plus : J.-M. Pomirol, C. Majorel, N. Chery, C. Girard, P. R. Wiecha, N. Mallet, R. Monflier, G. Larrieu, F. Cristiano, A.-S. Royet, P. Acosta Alba, S. Kerdiles, V. Paillard and C. Bonafos, ACS Photonics 8, 5, 1393-1399 (2021).

Un algorithme pour décrire les configurations atomiques

Les logiciels de modélisation à l'échelle atomique associés à la puissance des calculateurs permettent aujourd'hui l'étude de matériaux de plus en plus complexes avec une précision quantique et la prédiction de propriétés innovantes. Cependant, l'analyse du grand nombre de configurations atomiques ainsi générées reste difficile.

Nous avons développé un algorithme capable d'examiner, trier, analyser et comparer entre elles des structures atomiques et de résoudre le problème de correspondance de forme pour deux structures atomiques contenant un nombre d'atomes différents et de compositions chimiques complexes. Il est aussi capable de quantifier la similarité entre deux structures présentant une quasi congruence. Cet algorithme trouvera des applications prochaines dans l'analyse de données par approche de type Machine Learning, mais aussi dans les méthodologies de type Monte Carlo cinétique hors réseau grâce à l'identification de toutes les symétries des événements de diffusions, garantissant ainsi une exécution statistiquement correcte des directions de déplacement.



L'algorithme développé permet par une quantification sous forme d'une métrique de la zone grisée d'estimer la similarité entre deux structures atomiques, l'une bleue, l'autre rouge superposées mais légèrement décalées.

Contact : Anne Hémercyck, anne.hemeryck@laas.fr, équipe M3

En savoir plus : *IRA: A shape matching approach for recognition and comparison of generic atomic patterns*, M. Gunde, N. Salles, A. Hémercyck, L. Martin-Samos, *Journal of Chemical Information and Modeling*, 61, 11, 5446–5457 (2021).

Étudier/quantifier la modération sur Twitter depuis la perspective de ses utilisateurs

Le *Shadow Banning* consiste à limiter artificiellement la visibilité de certains utilisateurs/messages dans les réseaux sociaux. Cela peut être assimilé à de la censure implicite. Récemment, Twitter a fait l'objet d'accusations de *Shadow Banning*. Twitter a démenti en prétextant un bug.

Dans cet article paru à Infocom 2021, nous analysons plus de 2,5 millions de profils Twitter et concluons qu'il est statistiquement impossible que ce soit un bug touchant uniformément les utilisateurs. Nous montrons qu'au contraire, les profils touchés se trouvent plutôt en clusters, comme s'ils se contaminent, laissant penser que le *Shadow Banning* touche plus certaines communautés d'utilisateurs. Nous avons de plus mis en ligne un service permettant aux utilisateurs de tester leur profil et leur entourage : <https://whosban.eu.org/>



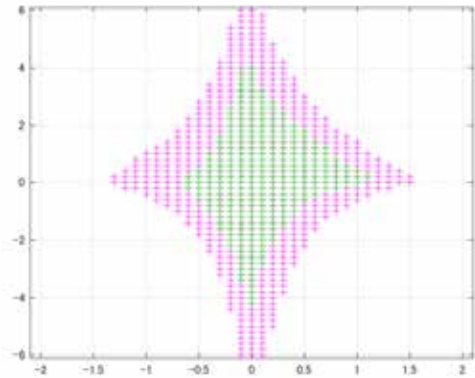
Contact : Gilles Trédan, gilles.tredan@laas.fr, équipe TSF

En savoir plus : *Setting the record straighter on Shadow Banning*, E. Le Merrer, B. Morgan, G. Trédan <https://arxiv.org/abs/2012.05101> (2021).

Résultats de stabilité de systèmes positifs à temps discrets pour l'analyse de réseaux de neurones

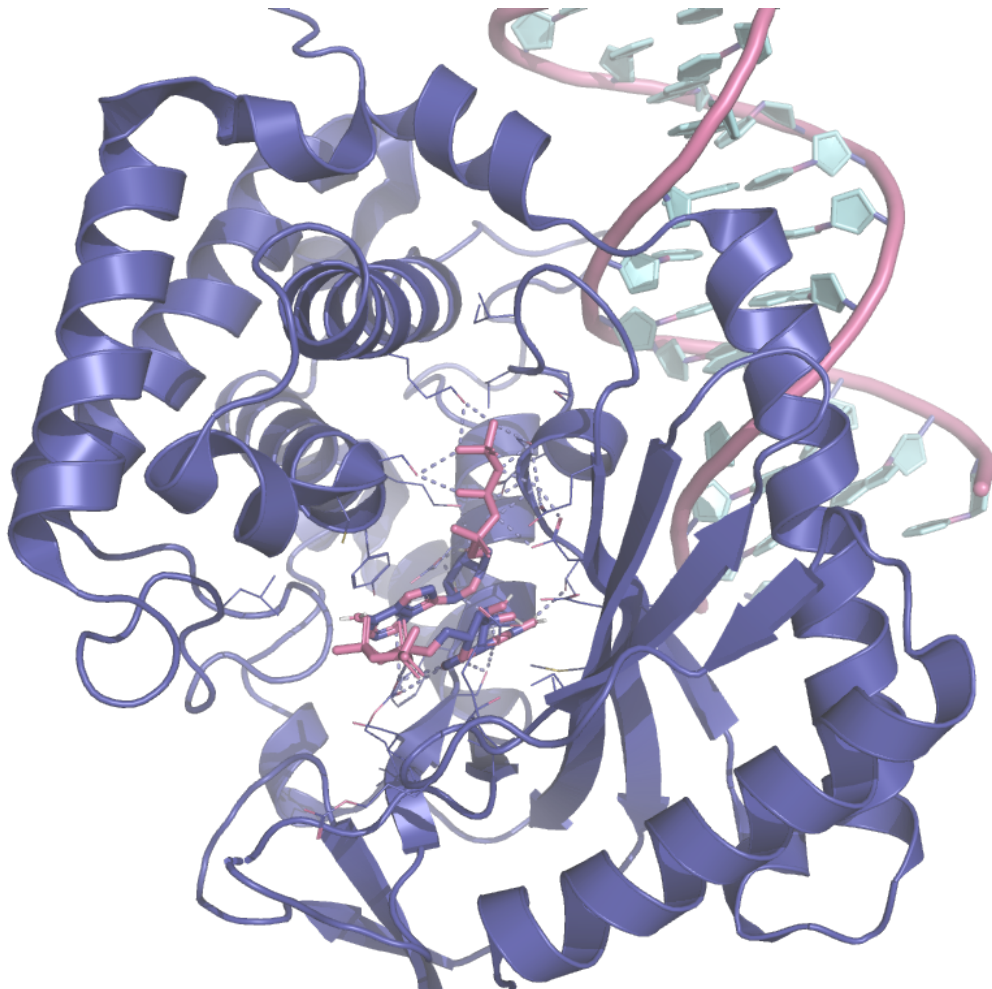
L'étude porte sur les propriétés des systèmes à temps discrets au sens de la norme l_2 pour le cas de signaux d'entrée à valeurs positives. Nous établissons des bornes minimales et maximales sur cette norme, calculables par des outils de programmation semi-définie. Nous démontrons ensuite que cette norme permet de prouver la stabilité de réseau de neurones dont les fonctions d'activation sont des rampes unitaires (ReLU). Cette stabilité est au sens du petit gain : à toute entrée bornée le réseau produit une sortie bornée.

Nous appliquons le résultat au cas d'un réseau de neurones dépendant de deux paramètres. Nous traçons le domaine de stabilité dans l'espace de ces paramètres. La stabilité certifiée obtenue avec les conditions standard est en vert, tandis que le domaine obtenu avec notre approche est en magenta et surpasse le domaine standard. Cela illustre l'intérêt de l'approche pour la certification des réseaux de neurones.



Contacts : Dimitri Peaucelle, dimitri.peaucelle@laas.fr, Sophie Tarbouriech, sophie.tarbouriech, équipe MAC

En savoir plus : *l_2 induced norm analysis of discrete-time LTI systems for nonnegative input signals and its application to stability analysis of recurrent neural networks*, Y. Ebihara, H. Waki, V. Magron, N. H. Anh Mai, D. Peaucelle, S. Tarbouriech, *European Journal of Control* (2021).





DISTINCTIONS

Mioara Joldes, lauréate de la médaille de bronze du CNRS



Mioara Joldes, chercheuse au sein de l'équipe ROC - Recherche opérationnelle, optimisation combinatoire et contraintes du LAAS-CNRS et dont les travaux de recherche portent sur l'arithmétique numérique et symbolique, le calcul formel et l'arithmétique des ordinateurs, a reçu le vendredi 8 octobre 2021 la médaille de bronze du CNRS.

Ingénieure diplômée en informatique de l'Université technique de Cluj-Napoca (Roumanie), Mioara Joldes est arrivée en France en 2007, suite à l'obtention d'une bourse d'excellence pour intégrer le Master d'informatique de l'École Normale Supérieure de Lyon. En s'intéressant à améliorer l'efficacité et la fiabilité des calculs en machine, elle a obtenu son doctorat en Informatique de la même école en 2011, suivi d'un postdoctorat à l'Université d'Uppsala en Suède. En Janvier 2013, elle rejoint le Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes du CNRS (LAAS-CNRS) à Toulouse, en tant que chargée de recherche et « experte du dernier chiffre correct retourné par un logiciel mathématique » : si quelqu'un le demande, elle peut expliquer si et comment on utilise 0,333 ou 0,334 au lieu de $1/3$ (rappelez-vous quand vous avez joué avec la calculatrice et $(1/3) * 3$ était 0,999999). Plus précisément, ses domaines de recherche sont en arithmétique des ordinateurs, calcul formel et calcul validé (rigorous computing en anglais). Depuis 2015, elle utilise cette expertise pour concevoir des algorithmes plus efficaces et plus fiables en contrôle de systèmes dynamiques et en particulier dans le domaine aérospatial. Par exemple, en collaborant aussi avec le CNES, elle s'intéresse à l'évaluation et l'atténuation du risque de collision en orbite terrestre, entre un satellite actif et un débris spatial.

La médaille de bronze CNRS lui a été remise à la cérémonie qui a été retranscrite sur la chaîne YouTube du CNRS Occitanie Ouest à l'occasion de la Journée des talents.

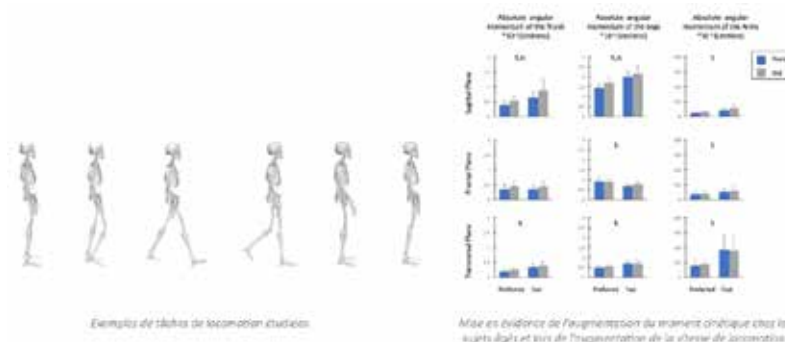
<https://www.ins2i.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/la-rigueur-au-service-de-laerospatial-mioara-joldes-obtient-la-medaille-de-bronze-du-cnrs>

Bruno Watier, membre de l'équipe Gepetto, élu président de la Société de biomécanique



Bruno Watier, chercheur au LAAS-CNRS et professeur à l'université Toulouse III Paul Sabatier, a été élu président de la Société de biomécanique. Cette société savante, fondée en 1976, a pour mission de promouvoir les recherches dans les domaines de la biomécanique que l'on pourrait traduire par la mécanique des organismes vivants. À la frontière de nombreuses disciplines comme la physiologie, l'anatomie, la physique, les neurosciences, la mécanique ou encore la robotique, la biomécanique s'applique dans des domaines très variés.

Bruno réalise ses recherches au sein de l'équipe Gepetto - Mouvement des systèmes anthropomorphes du LAAS-CNRS. Ces dernières se concentrent sur l'analyse, la modélisation et la simulation des mouvements humains avec de multiples applications destinées à l'étude du geste sportif et l'amélioration de la performance, l'étude de l'instabilité de la marche ou encore la génération de mouvements de systèmes robotiques en interaction avec l'homme. Il a récemment publié un article dans la revue Scientific Reports qui aborde les paramètres mécaniques permettant de prédire les risques de chute en particulier chez les personnes âgées. (« Segmental contribution to whole-body angular momentum during stepping », octobre 2021).



Hélène Waeselynck reçoit le prix SoSyM de l'article le plus influent depuis 10 ans

Hélène Waeselynck, responsable de l'équipe TSF - Tolérance aux fautes et sûreté de fonctionnement informatique du LAAS-CNRS, a reçu le prix de l'article le plus influent depuis 10 ans de la revue *Software and Systems Modeling* (SoSyM). Ce prix lui a été décerné lors de la conférence phare en ingénierie des modèles, l'ACM/IEEE 24th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS 2021) qui s'est tenue virtuellement du 10 au 15 octobre 2021. Son article intitulé « *The Many Meanings of UML 2 Sequence Diagrams: a Survey* », publié en 2011, a fait l'objet d'une présentation invitée en session plénière à cette conférence.



Ces travaux ont été menés en collaboration avec l'Université de technologie et d'économie de Budapest (Budapest University of Technology and Economics – BUTE) dans le cadre du réseau d'excellence européen ReSIST (*Resilience for survivability in IST*), programme européen 2006-2009 coordonné par le LAAS-CNRS.

Les auteurs de l'article, Zoltán Micskei (BUTE) et Hélène Waeselynck, s'intéressaient à la sémantique des diagrammes de séquence UML, c'est-à-dire à la signification mathématique que l'on peut donner à de tels diagrammes dont plusieurs significations sont possibles pour un même diagramme selon les usages que l'on souhaite en faire. L'article propose une catégorisation des choix sémantiques et illustre leurs conséquences sur l'interprétation des diagrammes. Ces travaux ont eu un impact auprès des nombreux chercheurs et praticiens qui utilisent les diagrammes de séquences UML au sein de différentes communautés scientifiques (comme les sciences du logiciel, l'ingénierie système, la cybersécurité, etc.) et pour divers domaines d'application tels que les systèmes critiques, les réseaux de communication, etc.

L'outil TINA de l'équipe Vertics reçoit la médaille d'or au MCC 2021

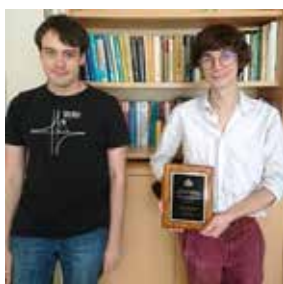


Pour la troisième année consécutive, l'outil TINA développé par l'équipe Vertics - Vérification de systèmes temporisés critiques du LAAS-CNRS a obtenu une médaille d'or lors de la *Model-Checking Contest*, une compétition de model-checkers pour la vérification de systèmes concurrents.

TINA est une boîte d'outils pour l'édition et l'analyse des réseaux de Petri et de leurs extensions. Cet outil de logiciel, créé par Silvano Dal Zilio et Bernard Berthomieu, qui affiche une fiabilité de 100 % sur les résultats calculés est arrivé premier dans la catégorie « *StateSpace* », augmentant encore son avance sur ses concurrents.

Romain Cayre reçoit le prix du meilleur poster à la conférence WiSec 2021

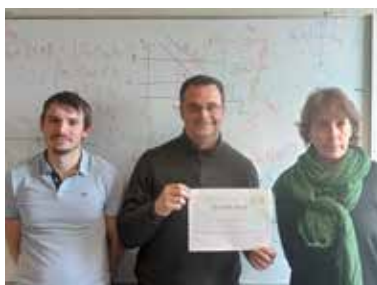
Romain Cayre, à droite sur la photo, doctorant au sein de l'équipe TSF - Tolérance aux fautes et sûreté de fonctionnement informatique, a reçu le prix du meilleur poster à la 14th *ACM Conference on Security and Privacy in Wireless and Mobile Networks - WiSec 2021*. Initialement prévu à Abu Dhabi (UAE), l'événement s'est déroulé en virtuel du 28 juin au 2 juillet 2021.



Romain a été récompensé pour son article intitulé «*Cross-protocol attacks: weaponizing a smartphone by diverting its Bluetooth controller*» qui démontre le détournement du contrôleur Bluetooth d'un smartphone Android grand public pour implanter des attaques pivots inter-protocoles, c'est-à-dire ciblant des protocoles non supportés nativement par le contrôleur. Ces travaux ont mené au développement d'une application Android nommée RadioSploit permettant l'intégration de nouvelles fonctionnalités offensives au sein du contrôleur Bluetooth du téléphone, destinées à l'attaque de réseaux 802.15.4 (Zigbee) mais aussi de protocoles propriétaires tels que Mosart ou Enhanced ShockBurst, massivement utilisés par les claviers et souris sans fil. Dans un contexte d'expansion rapide et massive des objets connectés, ces travaux contribuent à mettre en évidence les nouvelles menaces liées au déploiement de protocoles de communication sans fil hétérogènes et co-existants dans des environnements toujours plus mobiles, décentralisés et dynamiques.

Ses travaux ont été réalisés avec ses directeurs de thèse Mohamed Kaâniche et Guillaume Auriol de l'équipe TSF du LAAS-CNRS, en collaboration avec Florent Galtier (doctorant au sein de l'équipe TSF), Vincent Nicomette (co-encadrant académique) et Géraldine Marconato d'Apsys Lab (co-encadrante industrielle).

Yannick Pencolé reçoit un Best Paper de la conférence DX 2021



Yannick Pencolé, responsable de l'équipe DISCO - Diagnostic, supervision et conduite du LAAS-CNRS, a reçu le prix du meilleur papier lors de la conférence 32th *International workshop on principales of diagnosis - DX 2021*, qui s'est déroulé à Hamburg du 13 au 15 septembre 2021.

Yannick a été récompensé pour son papier «*A Model Checking method to solve the event pattern diagnosis problem in safe labeled time Petri nets*». Ces travaux proposent une méthode de raisonnement formelle pour établir un diagnostic de motifs événementiels complexes sur des systèmes à événements discrets temporels (chaînes de production, chaînes logistiques par exemple). Cette méthode s'appuie sur une modélisation du problème sous la forme d'un produit de réseaux de Petri temporels et le réduit à un ensemble de propriétés à vérifier sur ce modèle. La vérification de ces propriétés est effectuée à l'aide de l'outil TINA (équipe Vertics).

Ces travaux ont été réalisés avec Aubine Subias, maître de conférences et Camille Coquand, doctorant au sein de l'équipe DISCO.

Thomas Jarrin, lauréat du Prix Jacques Dalla Torre



Thomas Jarrin, doctorant au sein de l'équipe M3 - Modélisation multi-niveaux des matériaux en co-direction avec le CEA-DAM, d'Arpajon a reçu le prix Jacques Dalla Torre pour sa thèse intitulée « Simulation des effets de déplacements induits par irradiations dans les matériaux pour la microélectronique ».

Son travail de thèse consiste en l'optimisation d'une méthodologie employant différents modèles en chaîne afin de simuler les effets de déplacement dus aux radiations dans les semi-conducteurs constituant les technologies microélectroniques. Ces travaux ont apporté une contribution majeure dans l'amélioration de la description du freinage électronique dans les cascades de déplacements par l'utilisation de données de *Time Dependent - Density Functional Theory*.

Ce prix lui a été remis en décembre 2021 lors des Journées annuelles de la SF2M. Le prix Jacques Dalla Torre est attribué à un jeune chercheur une fois par an pour des travaux portant sur la modélisation depuis l'échelle atomique jusqu'aux échelles supérieures, de la formation et de l'évolution cinétique des microstructures dans les matériaux. Thomas a pu bénéficier d'une aide pour un séjour de 2 semaines chez Dr Alfredo Correa, au Lawrence Livermore National Laboratory (USA) et ainsi profiter de leur expertise dans le domaine.



Amirouche Oumaziz reçoit le prix du meilleur article à l'ESREF 2021



Amirouche Oumaziz, doctorant au sein de l'équipe ISGE - Intégration de systèmes et gestion de l'énergie du LAAS-CNRS et du groupe CS (Convertisseurs Statiques) du LAPLACE, a reçu le prix du meilleur article lors de la conférence « 32nd European Symposium on Reliability of Electron Devices, Failure Physics and Analysis » - ESREF 2021. Initialement prévu à Bordeaux, l'événement s'est déroulé en virtuel du 4 au 7 octobre 2021.

Amirouche a été récompensé pour son article présenté en session orale intitulé « *Fast cut-off, low I²T and high temperature monolithic on-chip fuse on silicon substrate for new fail-safe embedded power switch* ». Ses travaux proposent une nouvelle approche d'intégration monolithique de fusibles sur substrat silicium, dédiés à la protection de cellules de commutation sur puce de puissance, afin de permettre la mise en sécurité locale et la reconfiguration des circuits de conversion assurant ainsi une poursuite de mission même après une défaillance.

Ces recherches sont menées conjointement entre les équipes ISGE du LAAS-CNRS, CS du LAPLACE et les plateformes de ces deux laboratoires, en collaboration avec la société 3DiS Technologies, fondée au LAAS-CNRS. La thèse est encadrée par Frédéric Richardeau (équipe CS/LAPLACE, Dir. de thèse), Abdelhakim Bourennane (équipe ISGE/LAAS-CNRS, co-Dir. de thèse) et Emmanuel Sarraute (équipe CS/LAPLACE, co-encadrant).

De plus, son papier a été retenu par le comité ESREF 2021 pour qu'il y présente ses travaux en tant que conférencier invité à la 39^e édition de l'*International Symposium on the Physical and Failure Analysis of Integrated Circuits* - IPFA qui se déroulera en juillet 2022 à Singapour.

Ruggero Lot reçoit le prix du meilleur article étudiant à la NMDC 2021



Ruggero Lot, doctorant au sein de l'équipe M3 - Modélisation multi-niveaux des matériaux du LAAS-CNRS en codirection avec la SISSA (à Trieste, Italie), a reçu le prix du meilleur article étudiant lors de la conférence 16th *Nanotechnology Materials and Devices Conference* (IEEE NMDC 2021) qui s'est tenue du 12 au 15 décembre 2021 en virtuel et en présentiel à Vancouver au Canada.

Ce prix récompense ses travaux «*Developing a Neural Network Potential to Investigate Interface Phenomena in Solid Phase Epitaxy*». Sa thèse est encadrée par Anne Hemeryck (équipe M3, LAAS-CNRS, Dir. de thèse) et Stefano De Gironcoli (SISSA, Trieste, Italie).

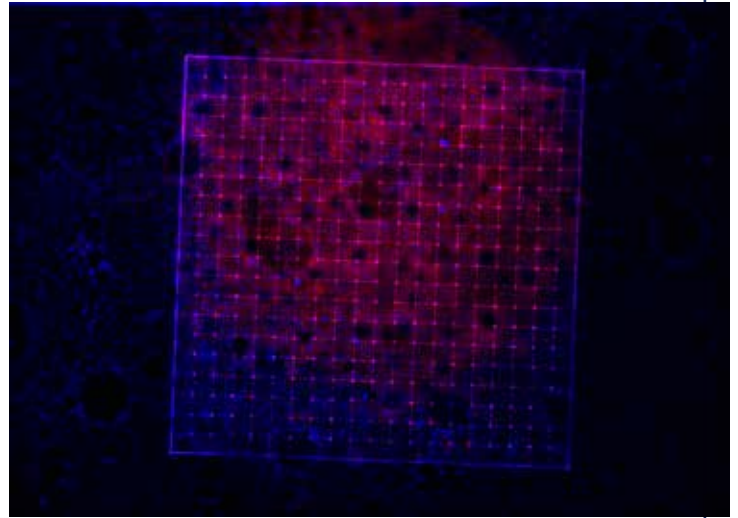
Ruggero a donné une contribution orale en présentiel sur le développement d'un potentiel interatomique pour le silicium fondé sur les méthodes de réseaux de neurones. L'objectif de ses travaux est de fournir un nouveau modèle énergétique d'interaction entre les atomes pour simuler la réorganisation des atomes dans les matériaux à l'aide d'approches de modélisation à l'échelle atomique, notamment la dynamique moléculaire. Dans sa thèse, il simule les procédés de fabrication, comme la recristallisation du silicium après son amorphisation lors des procédés de dopage.

A 3D molecular model of a crystal lattice. The atoms are represented as spheres connected by rods. Most spheres are dark gray, but one sphere in the center is a distinct orange color, representing a defect or impurity in the lattice. The text 'PROJETS NATIONAUX & INTERNATIONAUX' is written vertically on the right side of the image in a stylized, outlined font.

PROJETS NATIONAUX
& INTERNATIONAUX

MIGMIPS – Micro-intestin pour l'étude de l'ingestion de microplastiques

Dans un monde de plus en plus pollué par des déchets plastiques, la prolifération de micro et nanoparticules de plastiques représente un risque potentiel pour la santé humaine. Afin de réduire l'utilisation d'expérimentations animales, nous développons dans ce projet un système in vitro imitant la muqueuse intestinale afin d'étudier le potentiel passage de cette barrière par des microplastiques. D'une part, nous fabriquons une membrane poreuse par impression 3D sur laquelle des cellules intestinales reconstruisent une barrière proche de celle observée in vivo. D'autre part, nous développons de nouvelles méthodes de pré-concentration et de détection de nanoplastiques à des concentrations très faibles (2 000 nanoparticules par mm³).

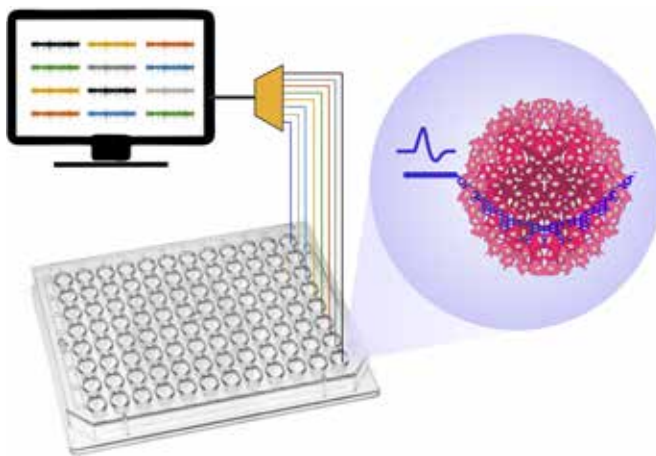


Contact : Bastien Venzac, bastien.venzac@laas.fr, équipe ELiA
En savoir plus : *MIGMIPS: Micro-Gut for MicroPlastic Studies (MSCA-IF Standard Fellowship)*
(mai 2021 - mai 2023).



SPHELECTRO – Développement d'une nouvelle technologie pour l'enregistrement de l'activité de « mini-cerveaux » en formation

Les modèles 3D de cerveaux tels que les sphéroïdes et organoïdes, ou « mini-cerveaux », représentent un outil-phare de ces dernières années pour les neurobiologistes, leur permettant de mieux comprendre certaines pathologies, notamment celles qui apparaissent pendant le développement embryonnaire, et de tester de



façon plus représentative de potentiels traitements pharmaceutiques. Cependant, la caractérisation de la fonctionnalité de ces mini-cerveaux, à savoir la maturation du réseau d'activité électrique des neurones, est encore très peu étudiée, et souvent limitée à des tests ponctuels et invasifs. Le projet SPHELECTRO a pour but de développer une nouvelle technologie de capteurs flexibles, intégrés dans ces organoïdes sans les perturber, capables d'enregistrer leur activité électrique pendant leur développement, de façon routinière et avec une résolution cellulaire.

Contact : Aziliz Lecomte, aziliz.lecomte@laas.fr, équipe MPN
En savoir plus : *Projet de la Commission européenne H2020 N°101028752*
« SPHELECTRO », Bourse MSCA - Individual Fellowship – Career Restart Panel

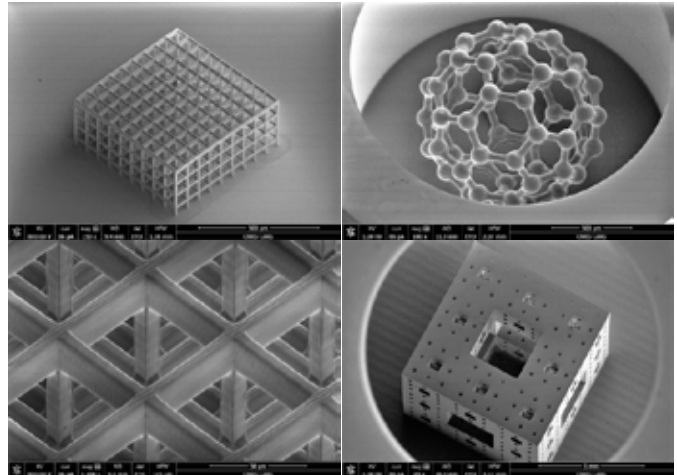


NANOFUTUR – Investissements en nanofabrication pour les nanotechnologies du futur

L'ambition de l'Equipex+ NANOFUTUR (2021-2026) est d'apporter une contribution majeure aux nouveaux défis de la nanotechnologie en s'appuyant sur le développement des moyens au sein du Réseau Renatech+.

Six challenges sont adressés à travers la collaboration de 12 laboratoires (FOTON, INL, C2N, FEMTO-ST, SPINTEC/LTM, IEMN, XLIM, ESYCOM, IMS, CRHEA, MPQ, LAAS CNRS) : Photonique avancée et énergie solaire ; Spintronique ; Capteurs, IoT et micro-énergie ; **Nanofabrication pour les sciences de la vie** ; Nanomanipulation et nano-assemblage

Au LAAS-CNRS, le projet est focalisé sur le développement de dispositifs appliqués aux sciences de la vie (dispositifs intégrés dédiés au diagnostic, à l'analyse médicale, systèmes pour la modélisation des systèmes vivants). Il permettra la mise en place d'une ligne de fabrication adaptée à la structuration 3D matériaux biocompatibles, à l'intégration de capteurs et l'assemblage multi-niveaux de dispositifs d'analyse et de détection, ainsi qu'à la caractérisation 3D des dispositifs (structuration 3D du verre, ablation laser, électrochimie à haut facteur de forme, flip chip, profilomètre optique, imprimante 3D).



Exemple d'architectures complexes en verre obtenues par nano structuration 3D

Contact : Laurent Malaquin, laurent.malaquin@laas.fr, équipe ELiA, Hugues Granier, hugues.granier@laas.fr, service TEAM
 En savoir plus : Financement : Programme d'Investissements d'Avenir – référence ANR-21-ESRE-0012
 Responsables scientifique et technique du projet : Michel de Labachellerie, Isabelle Sagnes & Frédéric Petroff

TIRREX – Technological Infrastructure for Robotics Research of Excellence

Le projet TIRREX (Technological Infrastructure for Robotics Research of Excellence) fait partie des lauréats des équipements structurants pour la recherche – ESR/ EquipEx+. Il rassemble tous les acteurs majeurs de la recherche académique française en robotique (CNRS, INRIA, CEA, INRAE) avec 19 partenaires. Il s'articule autour de 6 axes thématiques. Le LAAS-CNRS est impliqué à travers l'axe robotique. Cet axe cherche à obtenir pour la communauté de la robotique humanoïde française un nouveau robot permettant de repousser les limites des champs scientifiques suivants : la génération de mouvements, la perception de l'environnement et l'interaction physique et cognitive.

L'approche proposée est de spécifier collectivement un robot fonctionnel travaillant sur des technologies récentes mais qui fonctionnent sur des plateformes existantes. La difficulté est de trouver un bon compromis entre robustesse et performances. De façon à atteindre ce but, le robot sera défini dans des phases bien définies avec une société qui a démontré sa capacité à innover et la réalisation de technologies avancées sur des plateformes de tailles réelles. Deux sociétés ont été identifiées : Agility Robotics et PAL-Robotics.



Robot Kangaroo de PAL-Robotics



Robot Digit d'Agility Robotics

Contact : Olivier Stasse, olivier.stasse@laas.fr, équipe Gepetto

T-REFIMEVE – Service mutualisé temps-fréquence par fibre optique

Le LAAS-CNRS accueillera en 2022 le signal de référence optique Refimeve. Il s'agit d'une référence de fréquence absolue à 1 542 nm provenant de l'observatoire de Paris (SYRTE). Le signal suit le réseau de fibre optique et arrivera de Paris via Bordeaux. Au-delà de cette référence optique, le projet T-Refimeve (financé dans le cadre du PIA3) assurera également le transfert d'une référence de temps et d'une référence radiofréquence à 10 MHz. Le projet T-Refimeve permettra d'autre part au LAAS-CNRS de se doter d'un peigne de fréquence optique qui, une fois couplé à la référence optique de Refimeve, fournira une base de fréquences ultra-stables pour de l'analyse spectrale et de la synthèse de fréquence optique. Refimeve vient d'obtenir le label d'infrastructure de recherche nationale par le MESRI, ce qui lui donne de solides garanties de pérennité. Il ouvre des perspectives nouvelles en termes de métrologie optique et radiofréquence à Toulouse, mais également des possibilités d'expériences partagées multi-laboratoires sur le réseau Refimeve.



Contacts : Olivier Llopis, olivier.llopis@laas.fr, Gilles Bailly, gilles.bailly@laas.fr, équipe MOST
 En savoir plus : Anne Amy-Klein, Professeur, Université Sorbonne Paris Nord, Responsable du projet

TERRA FORMA – Vers un nouveau paradigme pour l'observation des systèmes naturels anthropisés

L'action de l'être humain a fortement déstabilisé les équilibres naturels au point de remettre en question l'habitabilité de la Terre. Le projet TERRA FORMA a pour objectif d'implémenter de nouveaux outils pour observer les interactions complexes reliant les humains et leur environnement, en se focalisant sur les enjeux clés que sont le capital sol, la ressource en eau, la pression chimique, la biodiversité et l'intégrité des paysages.

En s'emparant de technologies innovantes, le projet TERRA FORMA vise à créer et déployer sur le terrain des capteurs intelligents, connectés, à faible consommation énergétique et à empreinte limitée ainsi que des infrastructures de communication adaptatives dans le but d'adresser des résolutions spatiales et temporelles inédites. Ces innovations permettront de mieux comprendre les interactions entre les systèmes biotiques, abiotiques et humains.

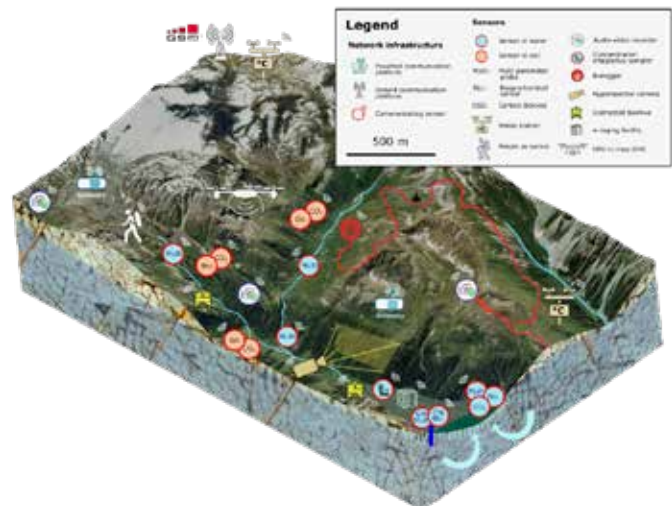


Schéma de principe d'un observatoire TERRA FORMA associant des capteurs communicants et des centrales de communications adaptées au site étudié
 © Virginie Girard, Laurent Longuevergne, Arnaud Elger

Contact : Vincent Raimbault, vincent.raimbault@laas.fr, équipe MICA
 En savoir plus : PIA 3 EquiPex+ TERRA FORMA : Concevoir et tester l'observatoire intelligent des territoires à l'heure de l'Anthropocène (2021-2028).

DATAPOWER — Association de la théorie en commande et de l'analyse des données pour étudier la pérennité programmée dans des convertisseurs de puissance



L'électronique de puissance est une technologie clé pour la transition énergétique. En pratique, le design des convertisseurs de puissance est basé sur une approche orientée fonction, où le matériel est optimisé pour très bien faire une seule tâche ce qui les rend très performants mais aussi mono-vie ou obsolètes au bout de quelques années d'usage. Dans l'équipe ISGE, nous étudions une approche orientée logiciel, où le matériel de puissance est fait pour être reprogrammable et multifonctions dans l'objectif de donner les convertisseurs des vies multiples ou pérennes.

Le projet DataPower étudie comment les données issues des capteurs embarqués dans les convertisseurs reprogrammables peuvent être utilisées pour optimiser les performances du convertisseur à court, moyen et long-terme. Ces données seront associées à des modèles de commande génériques développées par l'équipe MAC.



Contact : Luiz Lavado Villa, luiz.fernando.lavado.villa@laas.fr, équipe ISGE

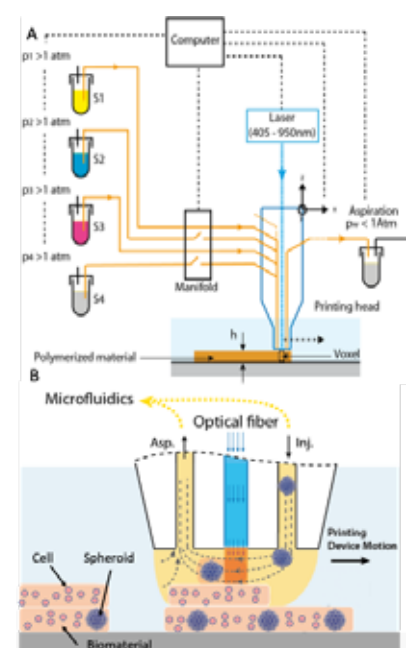
PRINTISS — Développement d'une plateforme de bioimpression multimatériaux et multicellulaires pour l'élaboration de modèles de microenvironnements



Le projet PRINTISS coordonné par l'équipe ELiA et réalisé en partenariat avec la société Fluigent SA (Paris) et le laboratoire Restore (Toulouse) vise le développement d'une plateforme de bioimpression multimatériaux basée sur une combinaison de concepts microfluidiques et de photopolymérisation pour la réalisation de modèles de tissus. Ce système sera adapté à la manipulation de différents blocs de construction tels que des biomatériaux reproduisant les propriétés de la matrice extra cellulaire, des cellules et des sphéroïdes (ou organoïdes) avec une précision de placement jusqu'à l'échelle cellulaire. Notre objectif est de valoriser les capacités de la plateforme pour la réalisation de modèles de tissus reproduisant les éléments clés du microenvironnement en conditions physiologiques et physiopathologiques, favorisant leur évolution vers un état fonctionnel. Ces modèles permettront l'exploration des interactions entre cellules et sphéroïdes et entre tissu et matrice. Nous démontrerons la pertinence de cette approche au travers d'une étude fondamentale des mécanismes de pré-vascularisation dans le tissu adipeux.

Contact : Laurent Malaquin, laurent.malaquin@laas.fr, équipe ELiA

En savoir plus : *A multi-material and multicellular bioprinting platform to control 3D pre-organization of tissue models*



HYDRES – L’hybridation photovoltaïque-thermoélectrique pour l’autonomie en énergie de petits systèmes



Malgré les récents progrès conceptuels et technologiques, jusqu’à 50 % de l’énergie solaire atteignant une cellule photovoltaïque est perdue et dissipée sous forme de chaleur. Afin de récupérer et valoriser cette énergie perdue thermiquement, une solution originale consiste à coupler la cellule solaire avec un générateur thermoélectrique (TEG) dans un système hybride photovoltaïque-thermoélectrique (PV-TE). L’ambition du projet ANR HYDRES est de mener une optimisation globale du système PV-TE par une approche multidisciplinaire grâce à la complémentarité des expertises du LAAS-CNRS et de l’Institut Jean Lamour (Nancy). Nous visons à démontrer qu’une hybridation optimale PV-TE permettrait d’ouvrir la voie vers l’autonomie en énergie de petits systèmes (capteurs, objets embarqués). Parmi les défis du projet, la fonctionnalisation de l’interface PV-TE par des nanoantennes réalisées au LAAS-CNRS devrait exalter la synergie entre les deux sources d’énergie.

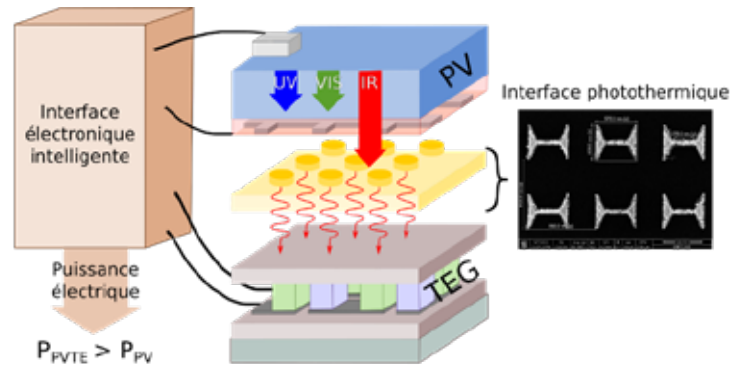
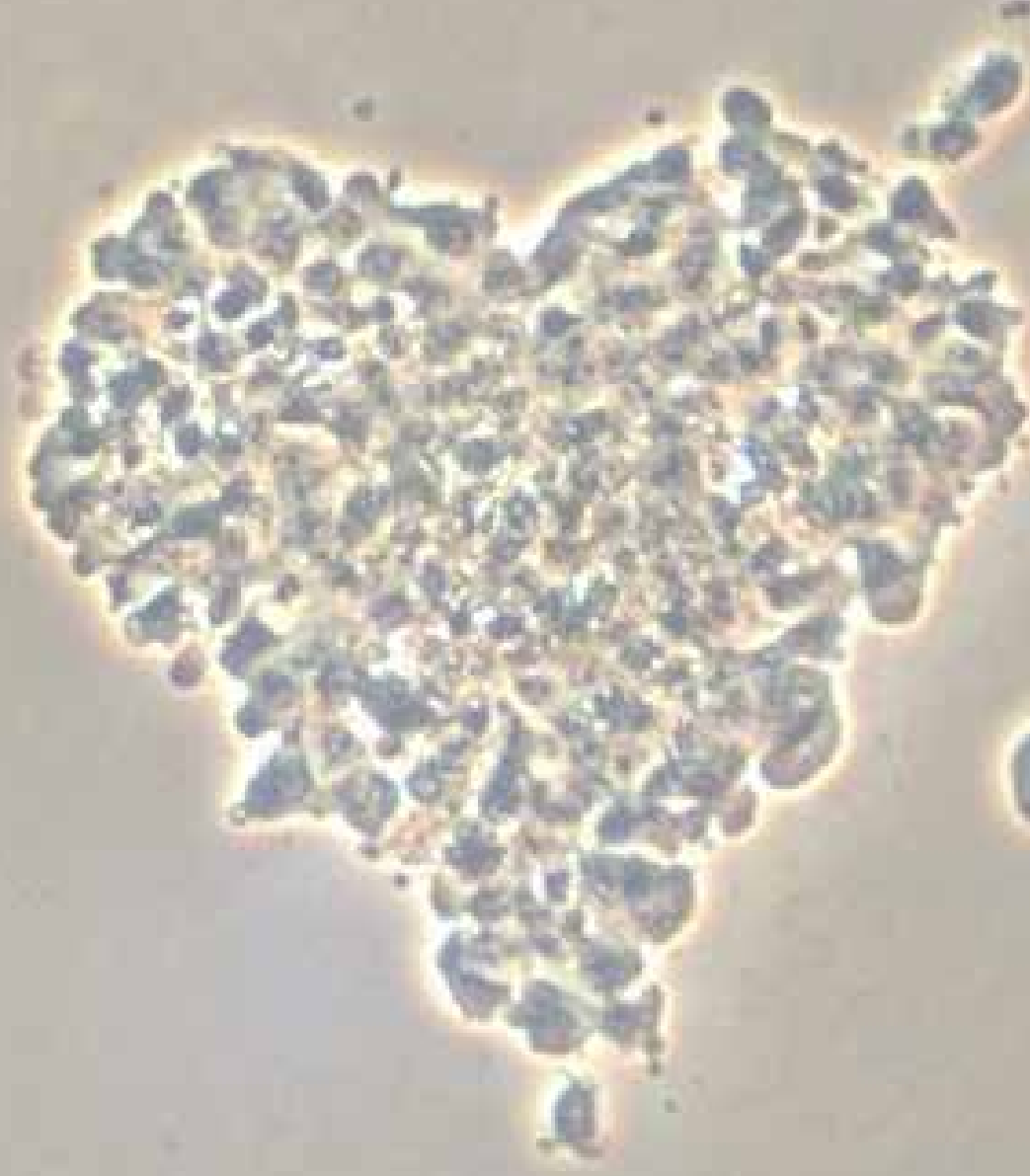


Schéma de principe du système hybride PV-TE au cœur du projet HYDRES ; en insert, image MEB des nanoantennes thermoplasmoniques développées au LAAS-CNRS

Contact : Inès Massiot, ines.massiot@laas.fr, équipe PHOTO

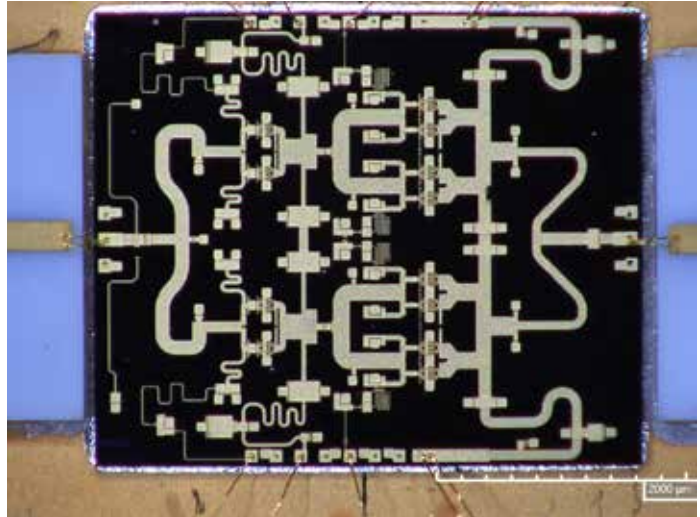
En savoir plus : *Systèmes hybrides photovoltaïques-thermoélectriques pour la récupération d’énergie solaire*



COLLABORATIONS INDUSTRIELLES

Académiques et Industriels se regroupent au LAAS-CNRS pour améliorer les nouvelles technologies GaN

Dans la continuité des travaux de recherche initiés dès le début des années 2000 sur les technologies GaN pour l'électronique des hautes fréquences, une plateforme originale de caractérisation et d'analyse de défaillances a été créée au LAAS-CNRS : PROOF*, qui croise des ressources pour étudier des technologies dédiées aux télécommunication ou à la commutation. Grâce au soutien d'industriels de premier rang sur le plan national et international, le LAAS-CNRS développe de nouveaux champs d'expertise dans l'objectif d'accompagner les futures générations de systèmes de télécommunications satellites ou terrestres, et de radars. Fort d'une expérience reconnue sur l'analyse des défauts de ces dispositifs actifs, le laboratoire s'engage plus avant sur une feuille de route cohérente et ambitieuse pour une meilleure connaissance et maîtrise de ces technologies complexes. Les collaborations récentes initiées avec Thales Alenia Space dans ce domaine illustrent la volonté de développer des actions communes sur ces technologies afin de positionner notre recherche et nos industries au meilleur niveau international.



Amplificateur de puissance MMIC GaN [16-20 GHz ; 10 W] soumis à des tests (ref. APN279 Northrop Grumman)

Contact : Jean-Guy Tartarin, tartarin@laas.fr, équipe MOST

* <https://www.laas.fr/projects/proof/>



OPALE, Optiques actives et lunettes instrumentées

Partenaires depuis 2004, Essilor et le CNRS avaient signé le 14 décembre 2015 un contrat de recherche associant le spécialiste des solutions optiques et le LAAS-CNRS pour une durée de 5 ans.

Au sein de ce laboratoire commun OPERA (Optique embarquée active) situé à Toulouse, une équipe commune et multidisciplinaire de chercheurs et d'ingénieurs a poursuivi les recherches sur les verres et lunettes à fonctions actives et connectées. Ces technologies ont permis de concevoir de nouvelles générations de verres optiques plus performantes.

Ce succès a amené Essilor et le LAAS-CNRS à poursuivre leur partenariat donnant naissance au nouveau laboratoire OPALÉ, Optiques actives et lunettes instrumentées pour une durée de 4 ans.

Sur la base du socle technologique et d'enrichissements croisés, construit sur plus de 10 ans, Essilor et le CNRS ont signé un nouveau contrat de recherche centré sur les composants optoélectroniques innovants poursuivant les efforts de recherche dans le domaine de l'optique active pour le contrôle de la vision.

Tout en conservant une approche système, OPALÉ sera centré sur de nouvelles optiques et fonctionnalités actives pour le porteur de verres correcteurs et sur le lien entre ces optiques et la vision du porteur. Il a pour objectif de poser les jalons de nouvelles compétences dans le domaine des asservissements biophysiques, des capteurs sensoriels et environnementaux ainsi que des méthodes algorithmiques de contrôle à la frontière des sciences du vivant et de la technologie en cours de conversion.

Contact : Henri Camon, henri.camon@laas.fr, équipe PHOTO

En 2021, le LAAS-CNRS et la société Riber ont officialisé 35 ans de collaboration en créant ÉPICENTRE, co-dirigé par Alexandre Arnoult (LAAS-CNRS) et Claudine Payen (Riber). Ce laboratoire commun a pour objectif de mettre en place une stratégie d'innovation technologique dans le domaine de la MBE à travers une gouvernance commune et un plan de recherche conçu pour déboucher sur le développement d'un ensemble de briques technologiques. Une équipe pluridisciplinaire entre Riber et le LAAS-CNRS a été constituée pour la réalisation du programme. Les équipes de Riber, ainsi que les 3 services techniques du LAAS-CNRS vont conjointement travailler pour une durée de six ans aux développements des objectifs du LabCom : les personnels des deux entités partageront leurs compétences respectives en épitaxie par jets moléculaires (ÉJM ou *Molecular Beam Epitaxy* - MBE). Le premier défi sera de développer un ensemble d'outils de mesure fournissant une maîtrise ultime des procédés épitaxiaux complexes. Le second défi sera consacré au développement d'une solution dédiée à la croissance de matériaux supraconducteurs pour des applications dans le domaine de l'ordinateur quantique. Parallèlement, le laboratoire Épicentre initiera un travail d'apprentissage par *machine learning* (IA).

Au sein du LAAS-CNRS, plusieurs projets de recherches vont poursuivre les travaux d'Épicentre pour porter plus loin les innovations scientifiques issues de cette collaboration.



Contacts : Alexandre Arnoult, alexandre.arnoult@laas.fr; service TEAM, Claudine Payen, cpayen@riber.fr; RIBER





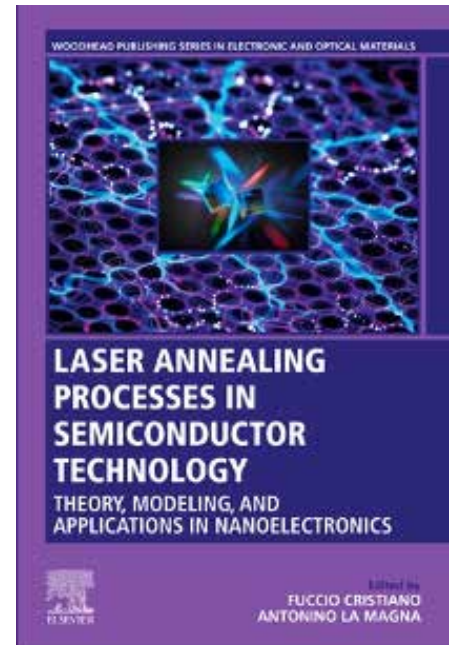
DIFFUSION DE LA CULTURE SCIENTIFIQUE

Processus de recuit au laser dans la technologie des semi-conducteurs. Théorie, modélisation et applications en nanoélectronique

Fuccio Cristiano de l'équipe MPN – Matériaux et procédés pour la nanoélectronique du LAAS-CNRS et Antonino La Magna du laboratoire CNR-IMM de Catane en Italie ont récemment publié un ouvrage intitulé « *Laser Annealing Processes in Semiconductor Technology. Theory, modeling and applications in nanoelectronics* ».

Ce livre présente les avancées scientifiques et technologiques des procédés de recuit laser en vue de leur application dans les technologies actuelles et émergentes dans le domaine des semi-conducteurs. Dans la première partie, un rappel théorique de l'interaction laser-matière est présentée, ainsi que les avancées récentes dans la modélisation des phénomènes physiques associés. Ensuite, les différentes applications de ce procédé sont passées en revue, notamment le recuit de matériaux semi-conducteurs du groupe IV (massifs ou nanostructurés) pour des applications en nanoélectronique et optoélectronique. Pour cela, des propriétés physiques sont spécifiquement modifiées par le recuit laser, tel le dopage électrique et/ou optique, jusqu'à la possibilité de déclencher des transitions de type isolant-métal ou semi-conducteur-supraconducteur.

En savoir plus : *Laser Annealing Processes in Semiconductor Technology. Theory, Modeling and Applications in Nanoelectronics*, Fuccio Cristiano, Antonino La Magna, Elsevier, 426 (2021).



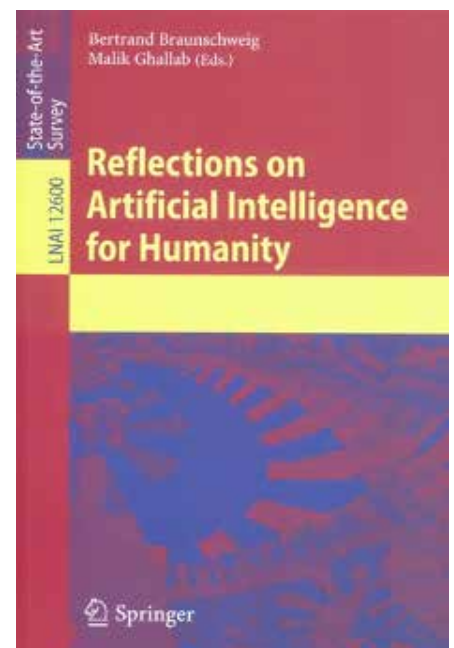
Réflexion sur l'IA pour l'humanité

Malik Ghallab de l'équipe RIS – Robotique et interactions du LAAS-CNRS et Bertrand Braunschweig, anciennement à l'INRIA de Paris, ont publié un ouvrage « *Réflexions sur l'Intelligence Artificielle pour l'humanité* ».

Les effets bénéfiques de l'Intelligence artificielle (IA) s'observent dans presque tous les domaines, par exemple dans de nombreux champs de la recherche scientifique, allant des sciences de l'environnement et du climat, aux sciences de la vie et de la santé, en passant par les sciences humaines et sociales. Mais l'IA est aussi une discipline qui soulève un grand nombre de problèmes humains et sociaux.

Dans ce livre, les auteurs développent une réflexion et esquissent des approches pour y répondre. Ils concluent leurs réflexions sur l'organisation de la recherche et du développement en IA face aux grands défis de notre temps, tels que le climat, l'environnement, la santé et l'éducation.

En savoir plus : *Reflections on Artificial Intelligence for Humanity*, Bertrand Braunschweig, Malik Gallab, Springer, XII, 267 (2021).





> VISITEZ LE PLUS GRAND LABO DE ROBOTIQUE DE FRANCE

> L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EST-ELLE BÊTE?

> SCIENCE CONTRE FICTION : LE MATCH!

Le hors-série Techno de Science et vie Junior consacre 6 pages de son dossier spécial « Bienvenue dans un monde de robots » à notre département Robotique. Pyrène et Solo, le quadrupède « fait maison » en impression 3D, les drones et la robotique de service y sont présentés par les scientifiques des trois équipes qui composent le département [RAP, RIS, Gepetto].

En savoir plus : Science & Vie Junior, Hors-série Techno « Bienvenue dans un monde de robots », 145, Janvier 2021.

Dans le labo du prof? Houfman

BIENVENUE
DANS UN MONDE
DE ROBOTS

Expertise auprès de la Fédération Française de Cyclisme (F.F.C.)

Georges Soto-Romero (équipe S4M) a participé à un stage avec l'équipe de France féminine de cyclisme les 17 & 18 novembre 2021 au Vélodrome National de Saint Quentin en Yvelines auprès d'Audrey Cordon-Ragot et Juliette Labous.

Il a ainsi étudié et réalisé des mesures SCX en soufflerie, établi les profils force-vitesse et endurance en s'appuyant sur des scans 3D afin de contribuer à l'amélioration des performances des deux meilleures cyclistes françaises.

Contact : Georges Soto-Romero, georges.soto-romero@laas.fr, équipe S4M



À quoi sert la 5G ? Article dans CNRS Le journal, Interview de Philippe Owezarski



Alors que les opérateurs téléphoniques proposent les premiers forfaits 5G, Philippe Owezarski, directeur de recherche au sein de l'équipe SARA explique, lors d'une interview donnée au CNRS Le Journal, les enjeux du déploiement de ce nouveau standard de télécommunication qui suscite encore interrogations et résistances.

En savoir plus : A quoi sert la 5G ?, CNRS Le journal, 303, 60-61, mars 2021.

Informatique

Automatique

Robotique

Micro et nano systèmes

Santé / Environnement
Juan CORTÉS, Morgan DELARUE, Vincent RAIMBAULT

Industrie du Futur
Cyril BRIAND, Patrick DANÉS

Energie
Cormine ALONSO, Guilhem ALMUNEAU

Transport / Mobilité
Eric ALATA, Patrick TOUNSI

Espace
Pascal BERTHOU, Olivier LLOPIS

Direction
Directeur
 Mohamed KAËNICHÉ
Directeurs adjoints
 Daniela DRAGOMIRESCU
 Pierre LOPEZ
 Pierre TEMPLE-BOYER

Réseaux, informatique, systèmes de confiance

Philippe OWEZARSKI
 ISI - Claude BARON
 SARA - Khalil DRIRA
 TSF - Hélène WAESELYNCK
 VERTICS - Silvano DAL ZILIO



HF et optique : de l'électromagnétisme aux systèmes

Olivier GAUTHIER-LAFAYE
 MINC - Alexandru TAKACS
 MOST - Éric TOURNIER
 OASIS - Julien PERCHOUX
 PHOTO - Stéphane CALVEZ



Micro nano bio technologies

Fuccio CRISTIANO
 ELIA - Laurent MALAQUIN
 M3 - Anne HÉMERVYCK
 MEMS - Christian BERGAUD
 MH2F - Katia GRENIER
 MICA - Jérôme LAUNAY
 MILE - Pierre JOSEPH
 MPN - Sébastien PLISSARD



Robotique
Philippe SOUÈRES

GEPETTO - Olivier STASSE
 RAP - Patrick DANÉS
 RIS - Simon LACROIX



Décision et optimisation
Dimitri PEAUCELLE

DISCO - Yannick PENCOLE
 MAC - Lucie BAUDOUIN
 ROC - Marie-José HUGUET



Gestion de l'énergie
Alain ESTÈVE

ESE - Patrick TOUNSI
 ISGE - Karine ISOIRD
 NEO - David PECH
 S4M - Christophe ESCRIBA



Janvier 2022

Les équipes

ISI Ingénierie système et intégration
SARA Services et architectures pour réseaux avancés
TSF Tolérance aux fautes et sûreté de fonctionnement informatique

Vertics Vérification des systèmes temporisés critiques

Gepetto Mouvement des systèmes anthropomorphes
RAP Robotique, action et perception
RIS Robotique et interactions

DISCO Diagnostic, supervision et conduite
MAC Méthodes et algorithmes en commande
ROC Recherche opérationnelle, optimisation combinatoire et contraintes

MINC Micro et nanosystèmes pour les communications sans fil
MOST Microondes et opto-microondes pour systèmes de télécommunications
OASIS Capteurs optiques et systèmes intégrés intelligents
PHOTO Photonique

ELIA Ingénierie pour les sciences du vivant
M3 Modélisation multi-niveaux des matériaux
MEMS Microsystèmes électromécaniques
MH2F Micro et nanosystèmes hyperfréquences fluidiques
MICA Microsystèmes d'analyse
MILE Micro-nanofluidique pour les sciences de la vie et de l'environnement
MPN Matériaux et procédés pour la nanoélectronique

ESE Énergie et systèmes embarqués
ISGE Intégration de systèmes de gestion de l'énergie
NEO Nano-ingénierie et intégration des oxydes métalliques et de leurs interfaces
S4M Instrumentation embarquée et systèmes de surveillance intelligents

Crédits photos

- Couverture Bâti d'épitaxie par jets moléculaires, ©Yannick Marrot/LAAS-CNRS
- Page 9 Electrochimie, © Alit Photographie
- Page 19 Etude de l'activation de la protéine cGAS par liaison à de l'ADN exogène, nouvelle cible thérapeutique pour son implication dans la réponse immunitaire et dans les défenses antitumorales, Soler et al. PCCP 15, 2021, © Marie Brut
- Page 21 Simulation d'un transport de charge avec le robot Pyrène, © Bruno Watier
- Page 27 Défauts ponctuels de type Centre E dans le silicium, © Gabriela Herrero Saboya
- Page 33 Cellules de cancer du pancréas qui forment un coeur, © Z. Ben Meriem
- Page 37 Le robot Pepper indique son chemin à un utilisateur, au LAAS-CNRS, © Cyril Frésillon/LAAS/CNRS Photothèque
- Page 40 Tests de capteurs d'activité embarqués sur un cycliste à l'entraînement, © Cyril Frésillon/LAAS/CNRS Photothèque

Suivez-nous !



Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes du CNRS
LAAS-CNRS
7 avenue du colonel Roche
31031 Toulouse cedex 4 – France
www.laas.fr

