

## FOCUS 2020

---

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

Liviu Nicu  
Thierry Leïchlé et Anne Hémercyck  
Anne Hémercyck

Rédaction

Éric Alata, Guilhem Almuneau, Véronique Bardinal, Laurent Bary, Christian Bergaud, Olivier Bernal, Pascal Berthou, Viviane Cadenat, Aurélie Clodic, Fuccio Cristiano, Étienne Dague, Morgan Delarue, Khalil Drira, Arnaud Fernandez, Antonio Franchi, Hugues Granier, Jérémie Guiochet, Anne Hémercyck, Élisabeth Hemsley, Mohamed Kaâniche, Guilhem Larrieu, Bernard Legrand, Thierry Leïchlé, Marie-Véronique Le Lann, Olivier Llopis, Inès Massiot, Vincent Migliore, Antoine Monmayrant, Vincent Nicomette, David Pech, Olivier Stasse, Aneel Tanwani, Marco Tognon, Gilles Trédan, Sandra Ulrich Ngueveu, Hélène Waeselynck

Conception graphique &  
mise en page

Dominique Daurat

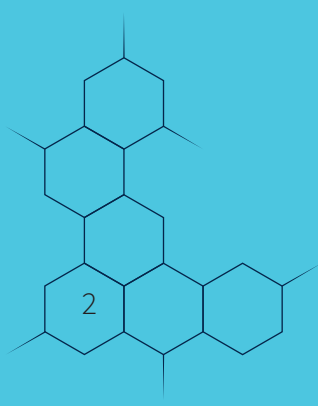
Remerciements

Marie-Laure Pierucci, Élodie Marques

*Suivez-nous !*



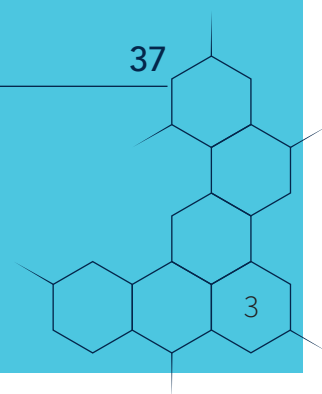
Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes du CNRS  
LAAS-CNRS  
7 avenue du colonel Roche  
31031 Toulouse cedex 4 – France  
[www.laas.fr](http://www.laas.fr)





# *Sommaire*

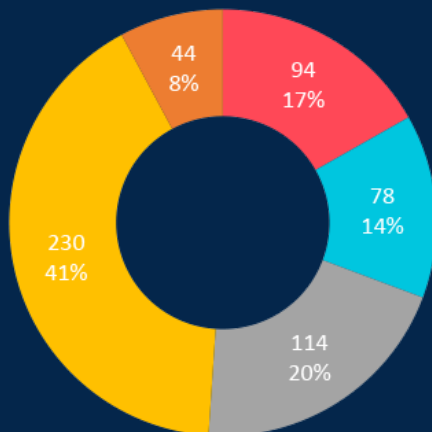
◆	<u>Éditorial</u>	5
◆	<u>Spécial Covid-19</u>	7
◆	<u>Événements</u>	11
◆	<u>Focus scientifiques</u>	15
◆	<u>Prix &amp; distinctions</u>	25
◆	<u>Projets européens, nationaux &amp; internationaux</u>	29
◆	<u>Collaborations industrielles</u>	37



# Chiffres clés



Personnel  
env 560, dont :



- ITA - ingénieurs, techn.
- chercheurs CNRS
- enseignants chercheurs
- doctorants/post-doctorants
- CDD chercheurs/ITA



12000 m<sup>2</sup> de  
surface bâtie

*Budget consolidé*

60 M€



**38** nationalités  
représentées



*Production scientifique :*

329 revues & conférences internationales  
13 ouvrages ; 35 thèses soutenues

5 axes transverses applicatifs

6 départements scientifiques

25 équipes

10 services communs



4

plateformes  
technologiques

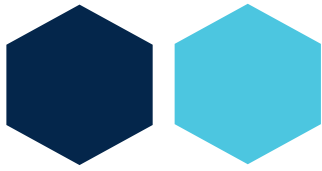


166 contrats en cours

18 projets européens, dont 2 ERC,  
2 projets H2020 en coordination

5 laboratoires communs avec  
l'industrie

2020



# Éditorial



S'il fallait raconter en trois mots le LAAS de l'année 2020, ce qui viendrait à l'esprit de façon instinctive serait la suite suivante : solidarité, résilience, espérance. Ces trois mots constituent le filigrane que mettrait en évidence la lecture attentive de ce nouveau numéro de notre Focus.

**Solidarité** – parce que dès le démarrage du premier confinement, sans se laisser surprendre par une phase de sidération que naturellement la plupart d'entre nous auraient pu ressentir, nous nous sommes mobilisés pour aider, communiquer, expliquer, maintenir le lien alors qu'on s'est retrouvé, en tant que collectif, atomisés puisque chacun enfermé dans sa propre cellule de survie. La première partie du Focus relate de façon explicite les actions que nous avons mises en place pour tenir bon et contribuer, à notre façon, à l'effort collectif fourni par les premières lignes sur le front de la pandémie.

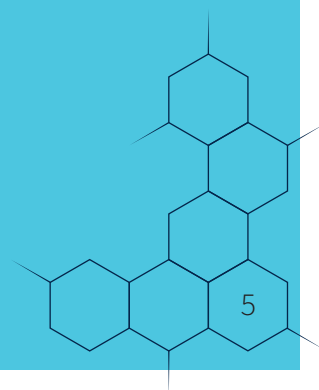
**Résilience** – parce qu'en même temps que nous égrainions les semaines des confinements/déconfinements, nous avons continué à effectuer nos missions d'avancement de la connaissance, de formation, de partenariat, de soutien à la recherche. Si ce numéro du Focus était lu en période dite « normale », il serait également perçu comme « normal » puisqu'en matière de résultats obtenus, de prix et distinctions, il ne laisse en rien transparaître une quelconque baisse de régime. Malgré la discontinuité d'activité forcée par le premier confinement, malgré l'éloignement et l'usage en mode réduit de nos plateformes technologiques, des belles avancées ont été obtenues et des belles histoires ont été écrites.

**Espérance** – parce que nous avons réussi, malgré tout, à organiser ou co-organiser des événements de grande ampleur, nous avons écrit et gagné des projets d'envergure qui nous permettent de nous projeter au-delà de la ligne d'horizon à la fois basse et pesante que cette pandémie aurait tendance à nous imposer au jour le jour. Enfin, espérance parce que nous continuons nos collaborations industrielles déjà engagées et, d'une certaine manière, nous contribuons à la construction de l'avenir en maintenant les liens et en créant des nouveaux avec les partenaires académiques et socio-économiques du site toulousain.

Je ne pourrai terminer cet éditorial sans remercier l'ensemble de la communauté LAAS qui a su traverser cette épreuve avec panache, en formant un bloc uni, inébranlable. Nul doute que le plus gros de la tempête est derrière nous et que la puissance de notre collectif, dont ce numéro du Focus relate quelques-unes de ses manifestations, nous amènera à bon port, à court terme.

Bonne lecture à toutes et à tous !

*Liviu Nicu*, directeur du LAAS-CNRS

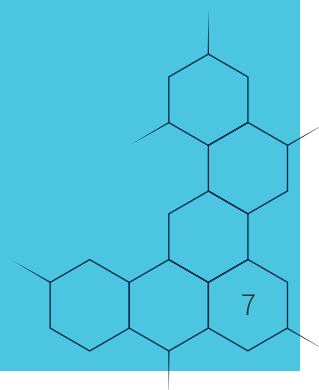






# *Spécial Covid-19*

- ◆ Positiver l'expérience du confinement
- ◆ La newsletter Microbe Academy du LAAS
- ◆ Une étude sur la recherche opérationnelle appliquée à la logistique hospitalière en période de crise Covid-19
- ◆ Les biocapteurs MEMS et la pandémie de Covid-19 : le rendez-vous manqué



Durant la première période de la pandémie du Covid-19, le laboratoire a rapidement mis en place des actions pour aider et accompagner le personnel à mieux vivre la crise, et a aussi participé aux actions de solidarité de la région.

## Positiver l'expérience du confinement

Dès le début du confinement au mois de mars, la délégation Occitanie-Ouest du CNRS a organisé une collecte de dons de matériels et d'équipements de protection à laquelle les laboratoires n'ont pas hésité à répondre présents. Ainsi le LAAS-CNRS s'est mobilisé pour donner son stock de gants, blouses, lunettes, protections à visières, combinaisons stériles, gels hydro alcooliques et ses réactifs chimiques à destination du personnel soignant des hôpitaux de Toulouse.

Grâce aux imprimantes 3D et à la découpe laser de plexiglas notamment, les chercheurs, ingénieurs et doctorants se sont mobilisés pour produire des visières et des «door opener», une sorte de clé pour ouvrir les portes, utiliser les boutons de la machine à café, de l'ascenseur ou appuyer sur les interrupteurs des lumières par exemple. Ils ont ensuite pu les distribuer dans des kits à chaque agent.

(par Joël Tari, doctorant RAP, Olivier Roussel, chercheur RAP, Xavier Dollat, Ingénieur I2C et Julie Foncy, Ingénieur I2C)



Mais au-delà des coûts matériels, l'esprit de solidarité s'est renforcé entre les agents.

Afin de garder le lien durant le confinement, le directeur animait un jeu appelé *Coronalympic Games* via un salon de chat. Les membres avaient rendez-vous deux fois par jour, à 9 h et à 15 h, pour se connecter et deviner où étaient prises les photos qu'il leur envoyait. Prises depuis les coins les plus insolites du laboratoire, ils avaient une heure pour trouver et donner leurs précisions.

Deux semaines plus tard, il a eu l'idée d'instaurer une nouvelle épreuve : qui est le coéquipier mystère ? Discrètement, des équipes de deux devaient se former, l'un pour prendre une photo de chez soi et y insérer trois objets-indices qui le représentaient tel que perçu par ses collègues, tandis que son camarade l'envoyait aux joueurs pour faire deviner l'identité de son coéquipier mystère.

Pendant 8 semaines de confinement, ce jeu aura permis de rassembler pas moins de 260 participants par jour dans la bonne humeur et avec beaucoup d'humour.

Après cette mise en pause imposée, qui aura permis de souder les liens, des groupes de réflexion ont vu le jour. Que ce soit pour la mise en place d'actions sur l'impact écologique des activités du laboratoire, ou pour échanger et débattre sur le sens des métiers autour de la recherche, le personnel a ressenti le besoin de se réunir au sein de collectifs.

**Coronalympics Games 2020 :**  
*les jeux que l'on ne reporte pas !*



## La newsletter Microbe Academy du LAAS

Une équipe de trois biologistes, avec la participation de la direction, a lancé une newsletter accessible à tous depuis le site internet, la «*Microbe Academy*» du LAAS-CNRS. Ils proposaient, trois fois par semaine, des articles pédagogiques, simples et clairs pour informer les plus petits comme les plus grands sur l'épidémie et les coronavirus.

Une belle façon de comprendre comment marche l'univers des microbes, des épidémies, des traitements et des vaccins. Cette lettre de vulgarisation a même été diffusée vers les écoles des enfants de quelques agents.

### L'équipe de rédaction



Claire "Sabine" Bigot



Rtienne "Fred" Dague



Morgan "Jamy" Delarue  
(et sa "Petite voix")



Liviu "Marcel" Nicu



Pierre Temple (Volume 6)





# Une étude sur la recherche opérationnelle appliquée à la logistique hospitalière en période de crise Covid-19

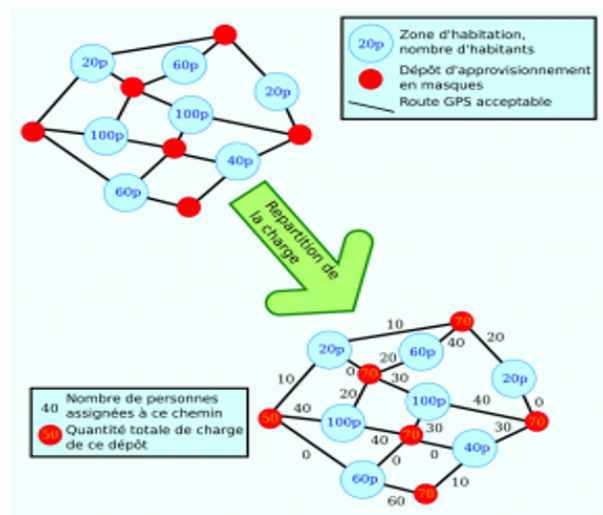
Dans la lutte contre la Covid-19 nécessitant beaucoup de matériels, des membres de l'équipe ROC du LAAS-CNRS, en collaboration avec le LIMOS-CNRS et le ROOT-CNRS ont présenté un projet sur l'optimisation d'approvisionnement en matériel médical.

La recherche opérationnelle, qui servait autrefois à palier les besoins militaires durant la seconde guerre mondiale, leur a permis de démontrer comment résoudre les problèmes difficiles de la planification dans le temps ou d'ordonnancement d'activités afin d'éviter l'engorgement et ainsi, minimiser les risques de propagation du virus. Comme par exemple organiser la distribution des masques grand public sur rendez-vous, délivrés quartier par quartier.

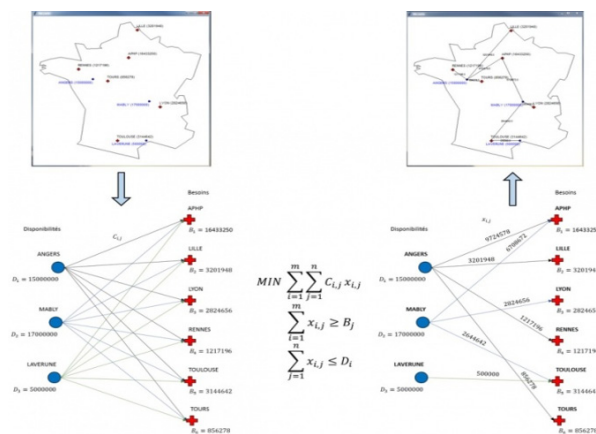
A la frontière entre mathématiques et informatiques, Christian Artigues et Alexandre Dupaquis de l'équipe ROC, et Jean-Charles Billaut du ROOT-CNRS ont modélisé des problèmes à l'aide d'outils mathématiques, puis ont pu les résoudre à l'aide d'outils informatiques afin d'obtenir des solutions le plus rapidement possible. L'usage des algorithmes de graphes permet de planifier l'approvisionnement de matériel grâce à la résolution de variables, représentant les décisions possibles; d'équations ou d'inéquations, représentant des contraintes; et celle des fonctions pour les objectifs à atteindre. C'est alors que la programmation mathématique vient en renfort grâce à des logiciels génériques, appelés solveurs. Cette technique de modélisation qui se base sur des variables, des inconnues à déterminer et des contraintes à respecter permet de traiter tout problème d'optimisation. On appelle ça l'explosion combinatoire des décisions possibles, les solveurs permettent de programmer de nouveaux algorithmes en cas d'échec des précédents.

Après l'expertise d'optimisation des flux au niveau national et régional des chercheurs du LAAS-CNRS et du ROOT-CNRS, Thierry Garaix du LIMOS-CNRS s'est penché sur des problématiques de logistique à l'échelle locale. Son projet porte sur la définition d'une typologie de personnes pour la gestion des stocks en équipements de protection individuelle (personnel soignants, patients) pour en estimer leur consommation journalière, puis sur le moyen et le long terme. Il s'appuie sur des simulations en estimant des tendances du nombre de patients Covid-19 sur différents établissements pour permettre d'anticiper les commandes. Cette méthode s'applique également aux produits pharmaceutiques en se basant sur le même principe: avoir une typologie de patients pour calculer la consommation en médicaments qui varie en fonction de l'avancement de la maladie. Le système ne cesse d'évoluer et d'alimenter des données supplémentaires, ces simulations de scénarios sont donc essentielles pour prédire la donnée critique, le nombre de cas Covid-19, et de ce fait, éviter une rupture de stock par exemple.

La logistique pose donc des questions d'optimisation et s'appuie sur des outils de recherche opérationnelle classique et des algorithmes performants. Applicable à différentes échelles macro ou micro, ce domaine apporte une solide expertise pour la gestion de crises sanitaires. D'autres projets de recherche opérationnelle liée à la crise actuelle sont en cours, comme la planification de visites à domicile ou la gestion des centres d'appels d'urgence.



Répartition de la charge d'approvisionnement de masques sur un réseau: définir l'emplacement de centres de distribution de masques, les quantités disponibles, etc.



Exemple de modélisation, optimisation de la gestion des flux de matériel médical

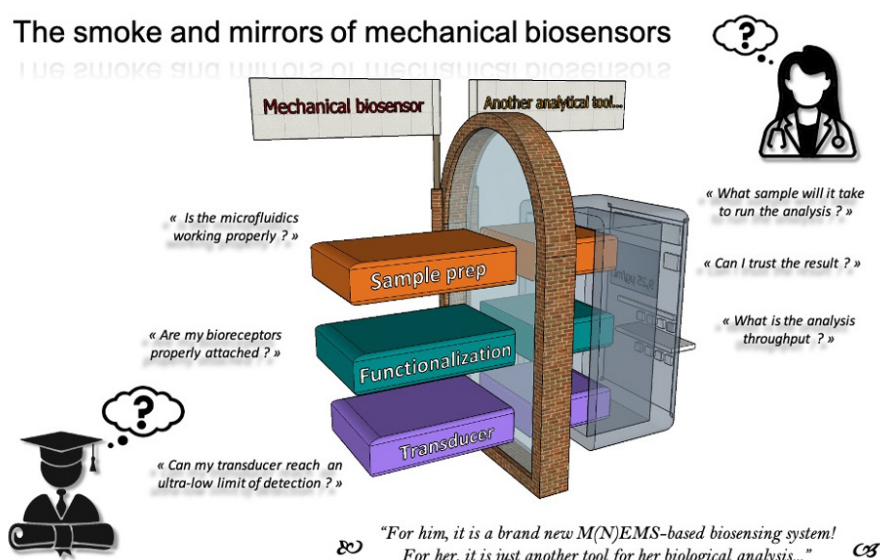
Contact : Christian Artigues, christian.artigues@laas.fr, équipe ROC



# Les biocapteurs MEMS et la pandémie de Covid-19 : le rendez-vous manqué

L'accélération des défis climatiques, numériques et sanitaires met à l'épreuve les communautés scientifiques. Les scientifiques doivent apporter des réponses concrètes en termes de solutions technologiques à une société qui attend un retour immédiat sur l'investissement public. Nous vivons un tel scénario à l'échelle mondiale avec la crise pandémique de Covid-19 où les attentes en matière de tests de diagnostic virologiques et sérologiques ont été et sont encore gigantesques. Dans cet article, nous nous concentrons sur une classe de biocapteurs, les biocapteurs MEMS/mécaniques, qui sont basés sur une technologie maintenant utilisée dans plusieurs produits commerciaux et qui sont présentés dans la littérature sous la forme de systèmes d'analyse biologique sensibles, sélectifs et peu coûteux. Le niveau de performance affiché suggérerait la possibilité de trouver ces capteurs mécaniques en première ligne dans la lutte contre la Covid-19 mais la réalité est tout autre. Nous apportons un point de vue critique et documenté du rendez-vous manqué entre les capteurs BioMEMS et les applications dans le contexte Covid-19 après 20 ans de développements dont on aurait pu attendre un impact à grande échelle. Nous analysons les critères opérationnels qui ont tenu ces biocapteurs à l'écart du terrain et nous indiquons les écueils à éviter à l'avenir dans le développement de tous types de biocapteurs dont le but ultime est d'être immédiatement opérationnels pour l'application visée.

## The smoke and mirrors of mechanical biosensors



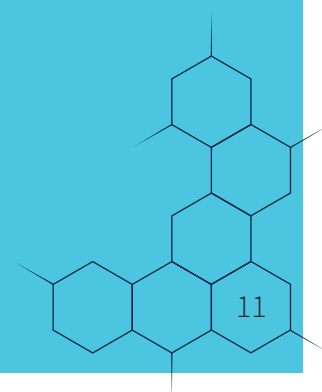
Contact : Thierry Leichlé, [thierry.leichle@laas.fr](mailto:thierry.leichle@laas.fr), équipe MEMS

En savoir plus : *MEMS Biosensors and COVID-19: Missed Opportunity*, T. Leichlé, L. Nicu, and T. Alava, *ACS Sensors*, 5(11), 3297–3305 (2020).



# *Evénements*

- ◆ ERTS fête sa 10<sup>e</sup> édition
- ◆ Visite de Nadia Pellefigue, vice-présidente de la Région Occitanie en charge de l'Economie, de l'Innovation, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche
- ◆ Fête de la science : le live Futurobot
- ◆ Conférence ESM'2020
- ◆ Journées de caractérisation microondes et matériaux - JCMM 2020
- ◆ IEEE IMBioC 2020



## ERTS fête sa 10<sup>e</sup> édition

La conférence Embedded Real-Time Systems (ERTS) est un rendez-vous international biennuel qui a réuni à Toulouse, du 29 au 31 janvier 2020, plus de 300 experts académiques et industriels des systèmes embarqués pour les applications temps-réel critiques, venus de toute l'Europe, mais aussi d'Asie et des Etats-Unis. La conférence a fêté sa dixième édition et a rendu hommage à Jean-Claude Laprie, ancien directeur du LAAS-CNRS et pionnier de la sûreté de fonctionnement informatique qui a été un des fondateurs de cette conférence.



Jean Arlat, Président du comité des programmes, ouvre la conférence ERTS-2020

La conférence cible des domaines d'applications critiques notamment l'aéronautique, l'automobile et l'espace. Si les premières éditions d'ERTS étaient principalement dédiées à la sûreté de fonctionnement informatique, la dixième édition a été marquée par la montée en puissance de l'intelligence artificielle et l'évolution vers le déploiement de systèmes de plus en plus autonomes et connectés. Les présentations et les discussions ont porté notamment sur le développement de nouvelles architectures et techniques de conception adaptées aux évolutions technologiques et aux contraintes d'objets connectés et de systèmes embarqués critiques (coût, ressources, délais temporels, QoS, certification...) et à la problématique de la certification et l'évaluation de la confiance dans des systèmes critiques intégrant des algorithmes d'intelligence artificielle.

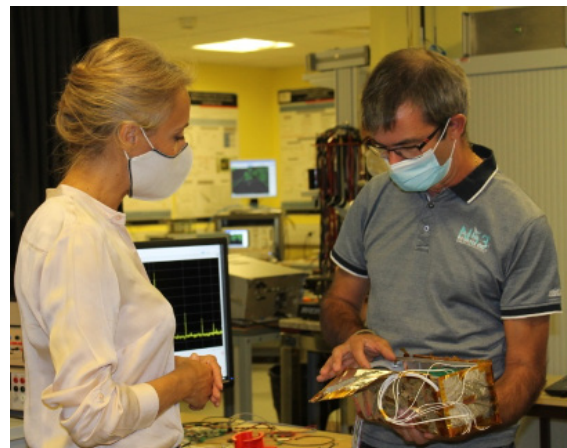
Contact : Jean Arlat, [jean.arlat@laas.fr](mailto:jean.arlat@laas.fr), équipe TSF  
En savoir plus : <https://www.erts2020.org/>

## Visite de Nadia Pellefigue, vice-présidente de la Région Occitanie en charge de l'Économie, de l'innovation, de l'enseignement supérieur et de la recherche

Lundi 21 septembre, Nadia Pellefigue est venue visiter le laboratoire qui lui a été présenté par la direction. Elle a ensuite participé à des démonstrations présentées par les chercheurs :

- > en robotique humanoïde avec l'équipe GEPETTO,
- > sur les robots en interaction avec les équipes RIS et RAP,
- > sur l'espace présenté par l'équipe ESE.

Elle a également pu appréhender les actions phares du laboratoire dans le domaine des transports-mobilités et participer à des échanges riches et prometteurs sur les perspectives et les pistes d'amélioration pour la région avec les responsables des départements RISC et GE notamment.



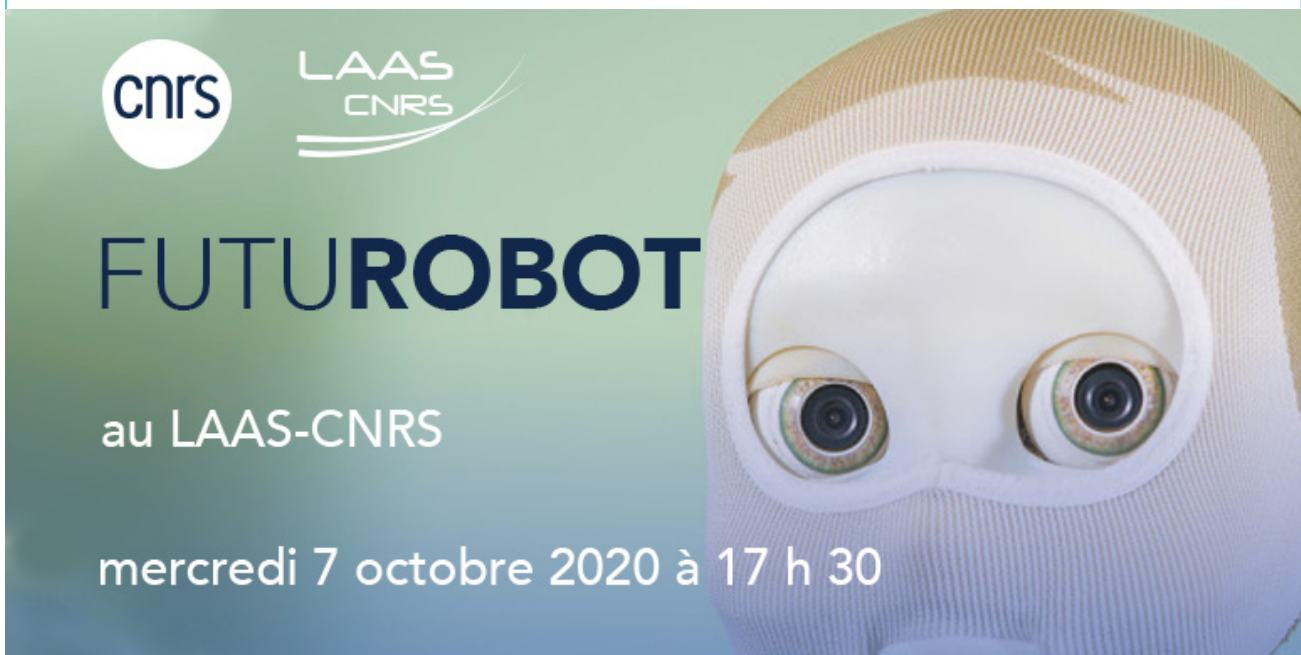
## Fête de la science : le live FutuRobot

Dans le cadre de la Fête de la science, le CNRS a proposé un jeu de piste en direct sur YouTube et Facebook qui s'est déroulé dans les locaux du LAAS-CNRS le 7 octobre 2020. Un événement numérique dans lequel Marie Triebert, animatrice de la chaîne Zeste de science, devait relever les défis lancés par les équipes de robotique dans une mystérieuse chasse au trésor. Les internautes pouvaient participer en l'aidant à résoudre les énigmes en commentaire.

Les laboratoires GIPSA Grenoble, ETIS Cergy-Pontoise, ISIR Paris, Heudiasyc Compiègne ont également participé aux côtés des chercheurs du LAAS-CNRS.

Un événement organisé, pour la première fois, par la direction de la communication du CNRS, en partenariat avec Konbini, et présidé par Antoine Petit, président du CNRS qui en a fait l'ouverture.

Le replay du live #Futurobot est disponible sur la chaîne YouTube du CNRS.



## Conférence ESM'2020

Les 21, 22 et 23 octobre 2020, le LAAS-CNRS a accueilli la conférence *European Simulation and Modelling* (ESM 2020). Compte-tenu du contexte sanitaire, ce sont finalement les serveurs du laboratoire plutôt que la salle de conférence qui ont accueilli les visiteurs pour un événement 100 % dématérialisé.

Malgré ce changement majeur par rapport aux pratiques habituelles, ce congrès a été l'occasion de rassembler 65 participants du monde entier, à travers des conférences plénières d'orateurs invités autour notamment de l'intelligence artificielle et de l'industrie du futur, associées à onze sessions thématiques axées sur les systèmes cyber-physiques, la simulation de gestion des données ou encore de gestion des risques. Fruit d'un fort investissement de l'équipe ISI, qui était en charge de l'organisation et de l'animation de la conférence, ESM 2020 a été placée sous le signe du prototype virtuel pour l'industrie du futur, thème fort de l'équipe.

Contact : Clément Foucher, [clement.foucher@laas.fr](mailto:clement.foucher@laas.fr), équipe ISI  
En savoir plus : <https://www.eurosis.org/conf/esm/2020/>





Après moult péripéties quant à la tenue de la 16<sup>e</sup> édition des Journées de caractérisation microondes et matériaux (JCMM), initialement prévue fin mars 2020 dans les locaux de l'ENSEEIH de Toulouse, ces journées se sont finalement déroulées avec succès en mode distancié du 23 au 25 novembre 2020. Elles ont lieu tous les deux ans et ont pour vocation de mettre en lumière à l'échelle nationale les avancées scientifiques récentes de la recherche fondamentale et appliquée dans les domaines des matériaux et des microondes, allant de l'élaboration des matériaux jusqu'à leur intégration dans des dispositifs microondes pour les domaines variés que sont les technologies de l'information et de la communication, la biologie, la santé et l'environnement. Cette édition inédite réalisée au format virtuel est restée fidèle à sa forte convivialité et à la qualité des échanges entre la centaine de participants, d'auteurs et conférenciers invités qu'étaient le Pr. Caloz de KU Leuven en Belgique et Dr. Fabrice Boust de l'ONERA de Toulouse. Enfin, la dernière journée a été co-organisée avec la COMET-ECM, la communauté d'experts du CNES dédiée à l'électromagnétisme et circuit microondes, sur le thème des matériaux microondes pour le spatial.

Contact : Katia Grenier, grenier@laas.fr, équipe MH2F  
En savoir plus : <https://jcmm2020.sciencesconf.org>

## IEEE IMBioC 2020



La 4<sup>e</sup> édition de la conférence *IEEE International Microwave BioMedical Conference* s'est déroulée du 15 au 17 décembre 2020. Cette conférence annuelle est placée sous l'égide de la société savante *IEEE Microwave Theory and Techniques* et est techniquement sponsorisée par les sociétés savantes *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, *Antennas and Propagation Society*, *European Microwave Association*, *GAAS association*. Il s'agit d'un forum international d'échanges des dernières avancées et résultats scientifiques situés à l'intersection des domaines des théories et techniques micro-ondes et radiofréquences, de la biologie et de la médecine. Les thématiques impliquées portent sur l'interaction des ondes électromagnétiques avec le vivant et ses exploitations applicatives, que ce soit pour des applications d'imagerie, de diagnostic ou traitement médical, de communication ou de localisation radars notamment.

Après un premier périple de par le monde, avec Göteborg en Suède, Philadelphie aux USA puis Nanjing en Chine, cette 4<sup>e</sup> édition devait revenir en Europe à Toulouse en mai 2020. Du fait de la pandémie mondiale, la conférence a finalement été organisée en mode virtuel en décembre 2020. Les 250 acteurs de la conférence, tous experts mondiaux sur les thématiques afférentes à l'interaction des ondes électromagnétiques avec la matière biologique et le vivant, qu'ils soient participants, présentateurs, invités ou présidents de session, ont su se mobiliser et s'adapter en un temps record à ce nouveau mode de communications et d'échanges en ligne. Ainsi, ont pu être appréciées des présentations invitées en direct, d'autres pré-enregistrées suivies de questions-réponses en direct, des sessions de groupe et workshop. Cette organisation a favorisé les interactions entre tous les participants malgré la distance physique imposée par les conditions sanitaires du moment, contribuant au succès de cette conférence.

Contact : Katia Grenier, grenier@laas.fr, équipe MH2F  
En savoir plus : <https://imbioc-ieee.org>

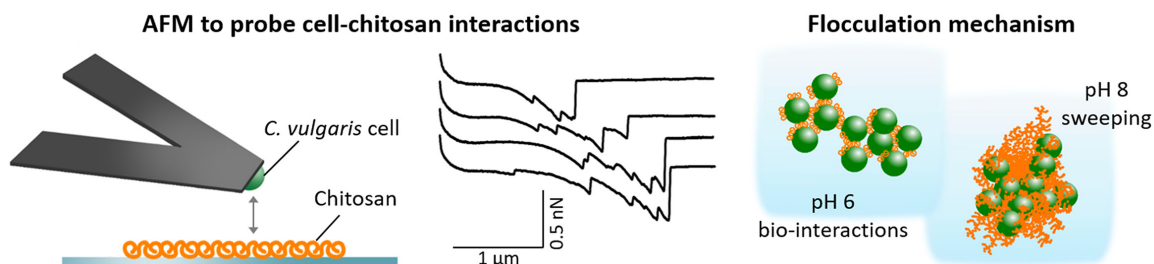


# *Focus scientifiques*

- ◆ Quand la microscopie AFM permet d'améliorer la récolte des microalgues
- ◆ Molécules bistables pour la thermométrie haute résolution
- ◆ Contrôle des interactions physiques de robots aériens arrimés à des câbles : théorie et applications
- ◆ Les contraintes mécaniques réduisent l'efficacité d'agents chimiothérapeutiques
- ◆ Des cellules solaires toujours plus fines
- ◆ Test d'un robot agricole en simulation
- ◆ Gestion de la qualité de service dans les plateformes IoT compatibles VNF
- ◆ Nouvelles solutions pour la détection d'intrusion dans des systèmes embarqués critiques et des objets connectés
- ◆ Systèmes dynamiques non-lisses
- ◆ Une nouvelle méthode de génération de colonnes pour l'optimisation dans un réseau de transport
- ◆ Un oscillateur à résonateur supraconducteur planaire plus performant que les sources à quartz
- ◆ Reconstruction de scènes hyperspectrales complètes avec un petit nombre d'images
- ◆ Atteindre le sommet ! pour caractériser exactement la cinétique des diffusions atomiques
- ◆ Vers une meilleure compréhension du stockage pseudocapacitif
- ◆ Anode de micro-batterie ultra-stable
- ◆ Vers un microscope à force atomique optomécanique
- ◆ IA : l'explicabilité n'engendre pas la confiance

## Quand la microscopie AFM permet d'améliorer la récolte des microalgues

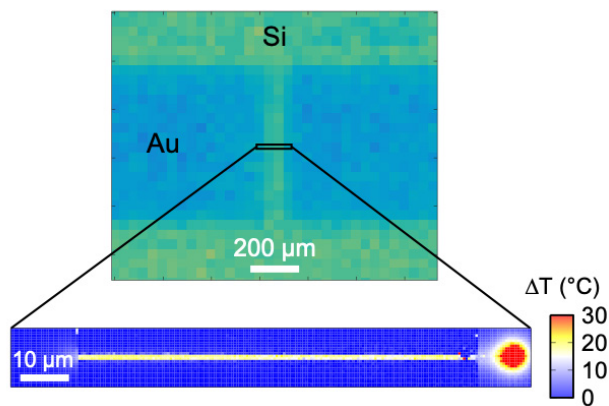
Les microalgues sont une ressource intéressante pour la production de biocarburants, mais leur utilisation industrielle est limitée par les difficultés liées à leur récolte. La floculation est une méthode de récolte prometteuse qui consiste à agréger les cellules en flocons facilement séparables de l'eau. Nous explorons ici le mécanisme de floculation induit par un polymère naturel, le chitosan. Pour cela, des expériences de spectroscopie de force AFM ont été réalisées pour sonder les interactions entre les cellules et le chitosan à l'échelle moléculaire. Les résultats ont montré qu'à bas pH, le chitosan interagit avec la paroi cellulaire via des interactions biologiques, mais qu'à pH élevé, un mécanisme différent prend place, basé sur la précipitation du chitosan. Cette approche, en permettant la compréhension des mécanismes de floculation, permet alors d'améliorer la récolte des microalgues.



Contact : Étienne Dague, [etienne.dague@laas.fr](mailto:etienne.dague@laas.fr), équipe ELiA

En savoir plus : *Nanoscale evidences unravel microalgae flocculation mechanism induced by chitosan*, I. Demir, J. Blockx, E. Dague, P. Guiraud, W. Thielemans, K. Muylaert, C. Formosa-Dague, *ACS Applied BioMaterials*, 3(12):8446-8459 (2020).

## Molécules bistables pour la thermométrie haute résolution



Cartes de température d'un nanofil d'or sur un substrat de silicium chauffé par effet Joule par un courant électrique de 7 mA, obtenues par thermographie infrarouge (haut) et par le thermomètre de surface à transition de spin (bas).

La miniaturisation des composants électroniques et l'augmentation de leur densité d'intégration a pour effet d'augmenter considérablement les flux de chaleur, pouvant conduire à des phénomènes de surchauffe très localisés. Les techniques conventionnelles comme la thermographie infrarouge ne permettent pas d'effectuer des mesures de température avec une résolution suffisante.

Une équipe de recherche regroupant des scientifiques de deux laboratoires du CNRS, le Laboratoire de chimie de coordination et le Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes, propose d'utiliser pour cela la bistabilité d'une famille de composés chimiques appelée molécules à transition de spin (TS).

Une fois déposées en couche mince sur un composant électronique, les molécules à TS voient leurs propriétés optiques évoluer en fonction de la température. Ce thermomètre chimique permet donc d'établir une cartographie thermique, à l'échelle nanométrique, de la surface de circuits microélectroniques.

Contact : Christian Bergaud, [christian.bergaud@laas.fr](mailto:christian.bergaud@laas.fr), équipe MEMS

En savoir plus : *Unprecedented switching endurance affords for high-resolution surface temperature mapping using a spin-crossover film*, K. Ridier, A.-C. Bas, Y. Zhang, L. Routaboul, L. Salmon, G. Molnar, C. Bergaud, A. Bousseksou, *Nature Communications*, 11, 3611 (2020).

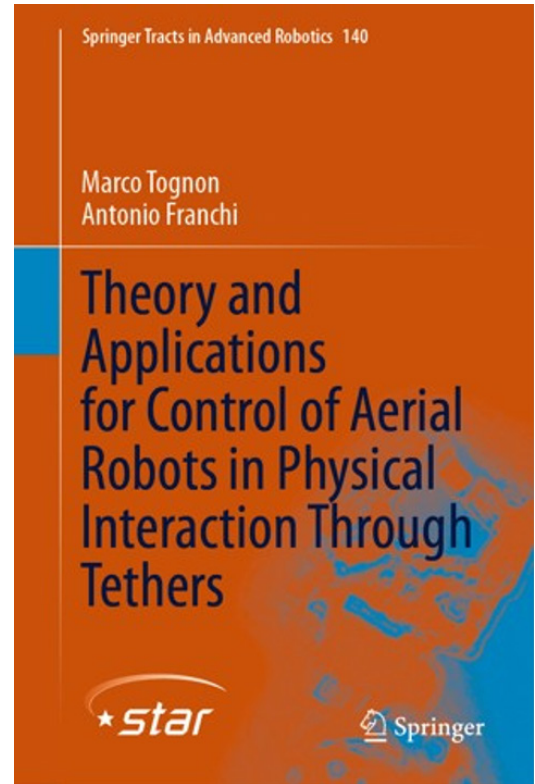


# Contrôle des interactions physiques de robots aériens arrimés à des câbles : théorie et applications

Marco Tognon et Antonio Franchi de l'équipe RIS (actuellement et respectivement, à l'ETH-Z, en Suisse et à l'Université de Twente, aux Pays-Bas) ont récemment publié un ouvrage intitulé «*Theory and Applications for Control of Aerial Robots in Physical Interaction Through Tethers*».

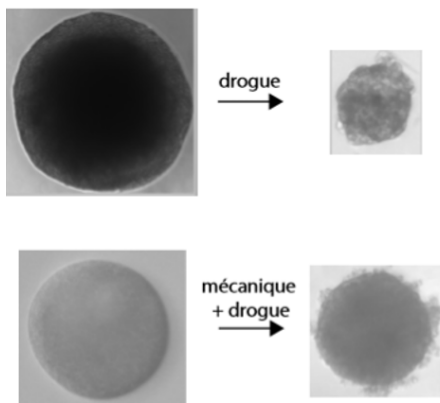
Le défi pour les futurs systèmes aériens sans pilote est d'exploiter leurs capacités d'interactions physiques avec leur environnement afin d'effectuer des tâches de construction, d'inspection ou de maintenance qui sont difficiles ou dangereuses d'accès pour l'Homme. Ces nouveaux systèmes permettront d'améliorer la sécurité des travailleurs dans la réalisation de ces tâches, parfois même avec une meilleure efficacité et ce dans des domaines d'applications variés comme le bâtiment, les ouvrages d'art ou les lignes électriques.

Cet ouvrage propose des développements de modélisation, de contrôle et de planification de mouvements concernant une catégorie restreinte de robots aériens : ceux qui sont arrimés par des câbles. Bien que ces systèmes soient spécifiques, leur étude permet aussi d'acquérir des connaissances et de l'expertise pour une catégorie plus générale de robots aériens. L'ouvrage présente de manière unifiée les résultats théoriques que les auteurs ont établis pendant cinq années de travaux au LAAS-CNRS, ainsi que différents exemples d'application. Il s'adresse tant à des étudiant.es et chercheur.es qu'à des ingénieur.es qui s'intéressent au développement de robots aériens.



Contact : Antonio Franchi, antonio.franchio@laas.fr, équipe RIS

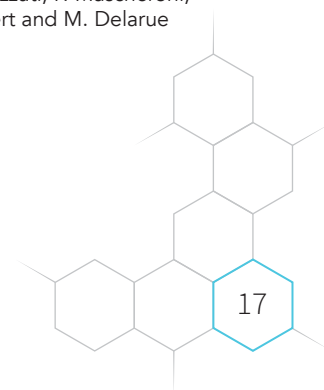
## Les contraintes mécaniques réduisent l'efficacité d'agents chimiothérapeutiques



La croissance cellulaire dans un environnement confiné implique une contrainte mécanique compressive. Cette dernière rétroagit sur la prolifération cellulaire : plus les cellules prolifèrent sous confinement, plus la pression mécanique est grande, et plus le taux de prolifération diminue. Or, ce sont justement les cellules en prolifération qui sont les cibles de la plupart des agents chimiothérapeutiques. Dans cette étude, nous avons démontré que l'augmentation des contraintes mécaniques compressives limitait l'efficacité de ces agents par un mécanisme indirect : en diminuant le nombre de cellules qui prolifèrent, la mécanique diminue le nombre de cellules ciblées par la chimiothérapie. Ces travaux illustrent l'importance de mieux comprendre les mécanismes de prolifération sous contrainte mécanique, pour mieux les appréhender, voire les contrôler.

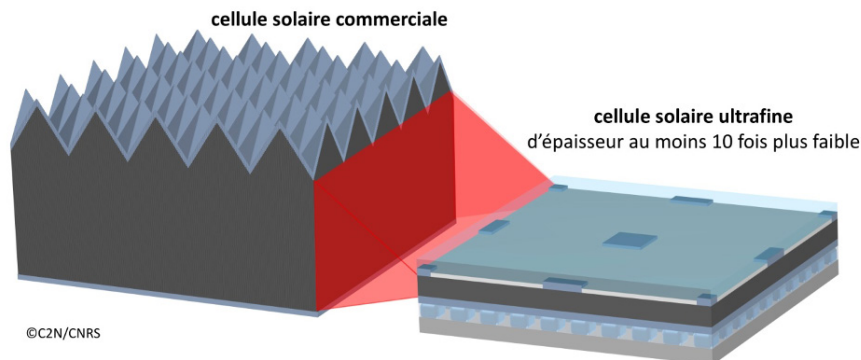
Contact : Morgan Delarue, morgan.delarue@laas.fr, équipe MILE

En savoir plus : *Mechanical Control of Cell Proliferation Increases Resistance to Chemotherapeutic Agents*, I. F. Rizzuti, P. Mascheroni, S. Arcucci, Z. Ben-Mériem, A. Prunet, C. Barentin, C. Rivière, H. Delanoë-Ayari, H. Hatzikirou, J. Guillermet-Guibert and M. Delarue Phys. Rev. Lett. 125, 128103 (2020).



## Des cellules solaires toujours plus fines

La diminution de l'épaisseur pourrait être un élément clé dans la quête de cellules solaires moins chères et plus efficaces. Réaliser des cellules solaires au moins 10 fois plus fines que celles commercialisées actuellement permettrait de faire des économies de matériau, de réduire le coût de fabrication des cellules, et faciliterait de nouveaux usages grâce à leur plus grande flexibilité. L'analyse de l'état-de-l'art sur les cellules solaires ultrafines menée par des chercheurs du CNRS (C2N, IPVF et LAAS-CNRS) et publiée dans *Nature Energy* le 2 novembre met en lumière le très fort potentiel des cellules solaires ultrafines, les défis à relever pour se rapprocher des limites théoriques, et les pistes les plus prometteuses.



©C2N/CNRS

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

En savoir plus : *Progress and prospects for ultrathin solar cells*, I. Massiot, A. Cattoni et S. Collin, *Nature Energy* (2020).

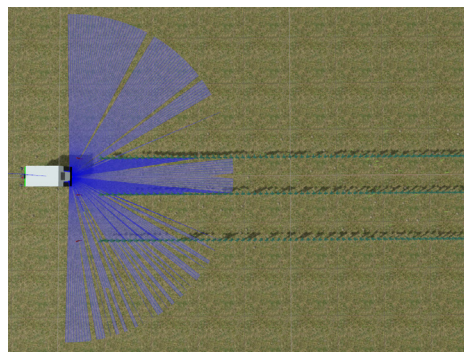
## Test d'un robot agricole en simulation

Les missions d'un robot autonome sont typiquement testées par des expérimentations sur le terrain. Cette approche est coûteuse et peut présenter des risques. Nos travaux développent une approche alternative de test en simulation : le robot accomplit ses missions dans des mondes virtuels. Une question est alors si la simulation est suffisante pour reproduire les défaillances observées en condition réelle.

Dans cet article, le système étudié est Oz, un robot agricole de la société Naïo Technologies. Notre expérimentation a mené en parallèle des tests virtuels (par le LAAS-CNRS) et sur le terrain (par Naïo). Côté LAAS-CNRS, l'approche a permis la génération de champs de légumes virtuels de caractères variés, et la vérification automatisée du comportement de Oz. Malgré les simplifications induites par la simulation, les tests du LAAS-CNRS se sont avérés efficaces. Ils offraient une bonne correspondance avec la plupart des défaillances observées sur le terrain, et ont même trouvé un cas nouveau confirmé par l'industriel.



Oz de Naïo Technologies / tests sur le terrain



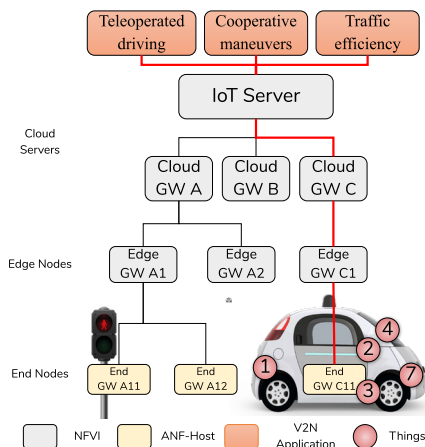
Oz de Naïo Technologies / tests en simulation

Contacts : Hélène Waeselync, helene.waeselync@laas.fr, Jérémie Guiochet, guiochet@laas.fr, équipe TSF

Contact Naïo Technologies : Simon Vernhes, simon@naio-technologies.com

En savoir plus : *The virtual lands of Oz: testing an agrobot in simulation*, C. Robert, T. Sotiropoulos, H. Waeselync, J. Guiochet, S. Vernhe, *Empirical Software Engineering*, 25, 3, 2025-2054 (2020).

# Gestion de la qualité de service dans les plateformes IoT compatibles VNF



La réplication systématique de ressources est utilisée dans la littérature pour répondre à l'augmentation du trafic IoT (Internet of Things). Ceci réduit la charge sur les nœuds congestionnés et conduit à une augmentation des coûts d'approvisionnement qui, mesurés à l'échelle de milliards d'appareils, peuvent nuire à l'acceptabilité. Notre objectif est d'améliorer les approches existantes en utilisant et en étendant le concept émergent des fonctions réseau virtualisées (VNF), en promouvant le contrôle du trafic IoT de bout en bout. Au lieu de reconfigurer en répliquant systématiquement un nœud congestionné, nous déployons dynamiquement des fonctions de contrôle de trafic orienté QoS. Nous implémentons une planification efficace des actions de reconfiguration selon un algorithme génétique. Les expériences menées sur une étude de cas de véhicules connectés montrent que notre approche réduit de 65% les coûts.

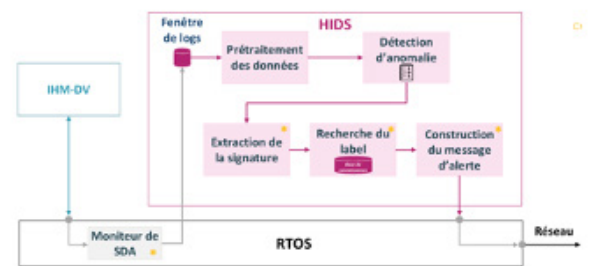
Contact : Khalil Drira, khalil.drira@laas.fr, équipe SARA  
 En savoir plus : *A Cost-Effective Approach for End-to-End QoS Management in NFV-enabled IoT Platforms*, C.A. Ouedraogo, S. Medjah, C. Chassot, K. Drira and J. Aguilar, IEEE Internet of Things Journal, 3025500 (2020).

# Nouvelles solutions pour la détection d'intrusion dans des systèmes embarqués critiques et des objets connectés

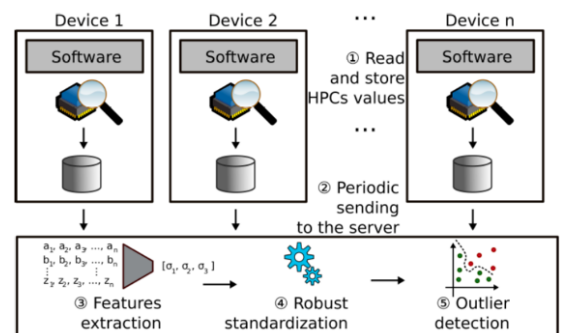
Il est indispensable aujourd'hui de développer des techniques de protection pour la cyber-sécurité adaptées aux évolutions technologiques et aux contraintes d'objets connectés et de systèmes embarqués critiques (coût, ressources, délais temporels, QoS, certification, ...). Les travaux menés par l'équipe TSF sur la détection d'intrusion dans le cadre de deux thèses CIFRE s'inscrivent dans cet objectif.

La thèse d'Aliénor Damien avec Thales Avionics s'est concrétisée par la conception et l'implémentation d'un système de détection d'intrusion embarqué sur un calculateur avionique permettant de surveiller le comportement d'applications hôtes, utilisant des algorithmes d'apprentissage automatique pour la détection d'anomalies à bord d'un aéronef et intégrant des moyens de diagnostic. Un outil d'injection d'attaque a également été développé pour valider expérimentalement l'efficacité de ces algorithmes.

La thèse de Malcolm Bourdon avec EDF considère le contexte particulier d'un déploiement à large échelle d'objets connectés ayant la même architecture, avec des ressources limitées, et qui sont utilisés de façon très similaire. Ce type d'objets est utilisé par exemple pour l'optimisation de la consommation énergétique dans des domiciles. Nous avons développé une approche de détection d'intrusion, facile à déployer et à faible coût, qui est basée sur l'observation et l'analyse de compteurs matériels de performances. L'approche s'appuie sur la détection de déviations de comportements au sein de la flotte d'objets, sans modélisation au préalable de l'application. L'efficacité de cette approche a été validée expérimentalement sur une plateforme constituée d'une centaine de Raspberry-Pi simulant le comportement de 10 000 objets connectés avec des profils d'utilisation très variés.



Système de détection et de diagnostic d'anomalie embarqué sur un calculateur avionique



Détection d'intrusion basée sur des compteurs matériels

Contact : Mohamed Kaâniche, mohamed.kaaniche@laas.fr, équipe TSF  
 En savoir plus : *On-board Diagnosis: A First Step from Detection to Prevention of Intrusions on Avionics Applications*, A. Damien, P.-F. Gimenez, N. Feyt (Thales Avionics), V. Nicomette, M. Kaâniche, E. Alata, 31<sup>st</sup> IEEE Int. Symposium on Software Reliability Engineering (ISSRE- 2020), Coimbra, Portugal (12-15 Octobre 2020) / *Hardware-Performance-Counters-based anomaly detection in massively deployed smart industrial devices*, M. Bourdon, P.-F. Gimenez, E. Alata, M. Kaâniche, Y. Laarouchi, V. Migliore and V. Nicomette, The 19<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Network Computing and Applications (NCA 2020) (24-27 Novembre 2020).



# Systèmes dynamiques non-lisses

La modélisation mathématique des systèmes dynamiques est très utile pour l'analyse des systèmes physiques, ainsi que pour l'analyse des performances des algorithmes récursifs. Nous nous intéressons à différents formalismes de systèmes dynamiques dits non-réguliers, s'éloignant du cadre classique des équations différentielles ordinaires. Ces systèmes non-réguliers correspondent à des inclusions différentielles, modélisant les discontinuités. Diverses classes de tels modèles sont analysées et comparées, et plusieurs concepts fondamentaux sont passés en revue : les opérateurs maximaux monotones, les cônes tangents et normaux, les sous-différentielles, etc. De nombreux domaines d'application qui démontrent le grand intérêt de ces modèles sont également indiqués : réseaux de neurones, systèmes de transport, modèles pour la biologie, systèmes avec des contraintes unilatérales, commande optimale sous contrainte, circuits, etc. Des connections sont établies avec l'Automatique, l'existence des points d'équilibre des systèmes non-réguliers est étudiée, ainsi que des conditions suffisantes de stabilité. Des sujets de recherche potentiellement intéressants pour le futur ainsi que des problèmes ouverts pour la synthèse de la commande sont explorés.

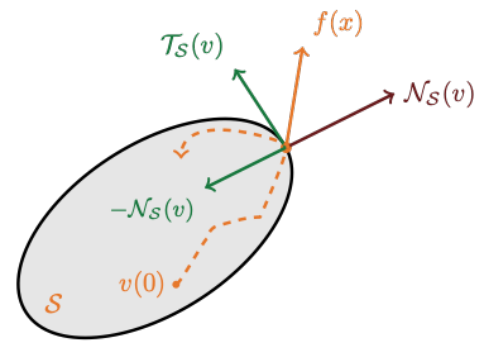


Illustration du cadre du processus de balayage pour la modélisation des systèmes contraints

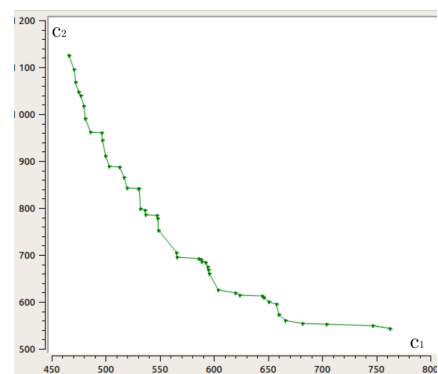
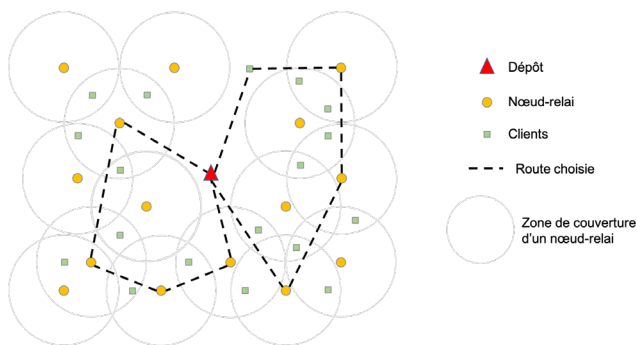
Contact : Aneel Tanwani, aneel.tanwani@laas.fr, équipe MAC

En savoir plus : *Dynamical systems coupled with monotone set-valued operators: Formalisms, applications, well-posedness, and stability*, B. Brogliato and A. Tanwani, SIAM Review: 62(1):3-129 (2020).

## Une nouvelle méthode de génération de colonnes pour l'optimisation dans un réseau de transport

Dans un réseau de transport, une stratégie d'approvisionnement consiste à trouver un ensemble de routes de coût minimum qui dessert chaque client, soit en le visitant, soit en visitant un nœud-relai proche. Les problèmes résultants présentent de nombreuses applications notamment en logistique de crise. Il est alors important pour les opérateurs d'optimiser deux critères contradictoires : la longueur totale des routes choisies et la distance maximale séparant chaque client non visité du nœud-relai visité auquel il est affecté.

Réalisée au LAAS-CNRS et en collaboration avec l'université Vrije Universiteit à Amsterdam, l'étude des propriétés structurelles de ces problèmes a permis de développer une nouvelle méthode exacte de type «génération de colonnes», prouvée particulièrement performante.

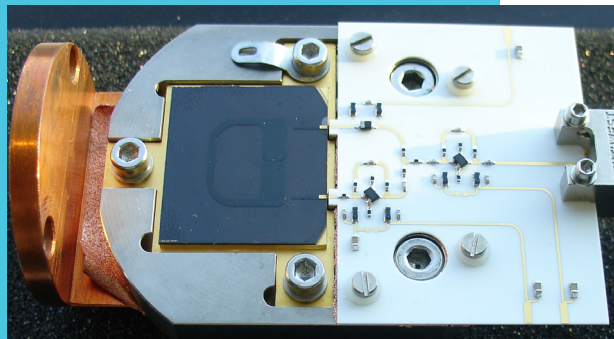


Contact : Sandra Ulrich Ngueveu, sandra.ulrich.ngueveu@laas.fr, équipe ROC

En savoir plus : *Exact methods for mono-objective and Bi-Objective Multi-Vehicle Covering Tour Problem*, E. Glize, R. Roberti, N. Jozefowicz and S.U. Ngueveu, European Journal of Operational Research, 283, 3, 812-824 (2020).

# Un oscillateur à résonateur supraconducteur planaire plus performant que les sources à quartz

La supraconductivité à haute température permet de réaliser des résonateurs à très haut facteur de qualité, lesquels peuvent être utilisés pour stabiliser un oscillateur. Plusieurs problèmes restaient à résoudre toutefois : concevoir un circuit d'amplification susceptible de fonctionner à la même température que le résonateur, gérer les effets non-linéaires issus du très grand stockage de l'énergie dans le résonateur et optimiser en bruit le circuit cryogénique grâce à un modèle. Ces défis ont pu être relevés et le résultat est un oscillateur à 1 GHz qui présente la même performance que les meilleures sources à quartz multipliées près de la porteuse (-112 dBc/Hz @ 100 Hz) et une performance meilleure au niveau du plancher de bruit loin de la porteuse (-170 dBc/Hz à 100 kHz). Il s'agit de la meilleure performance publiée à ce jour pour ce type de circuit.



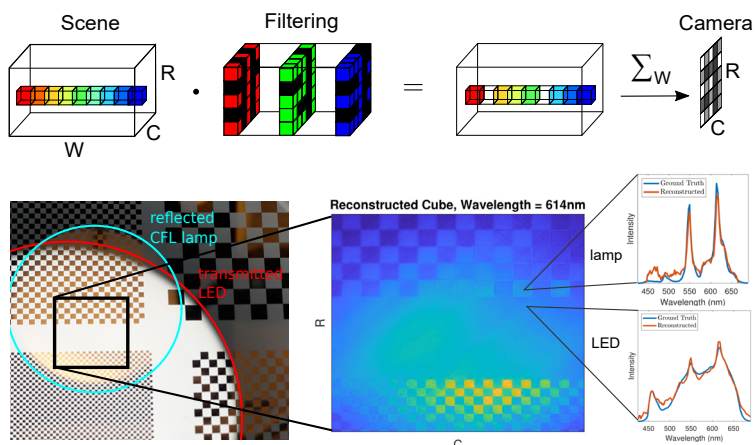
Oscillateur tout cryogénique (65 K) utilisant un résonateur supraconducteur et un circuit à base de transistors bipolaires silicium-germanium (thèse CIFRE-DGA Thales-CNRS de D. Chaudy)

Contact : Olivier Llopis, [olivier.llopis@laas.fr](mailto:olivier.llopis@laas.fr), équipe MOST

En savoir plus : *A low phase noise all cryogenic microwave oscillator based on a superconductor resonator*, D. Chaudy, O. Llopis, B. Marcilhac, Y. Lemaître, O. D'Allivy Kelly, J.-M. Hode, J.-M. Lesage, *IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, 67, 12, 2750-2756 (2020).

# Reconstruction de scènes hyperspectrales complètes avec un petit nombre d'images

L'imagerie hyperspectrale a de nombreuses applications, mais mesurer les données hyperspectrales 3D d'une scène prend beaucoup de temps : classiquement, on combine une longue série d'images 2D. En exploitant la régularité présente dans la scène (des pixels proches sont susceptibles d'avoir des spectres similaires), il est possible de réduire ce nombre d'images et d'augmenter d'autant la fréquence d'acquisition.



L'algorithme, développé durant une thèse co-encadrée entre le LAAS-CNRS et l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie (IRAP), utilise la régularisation pour reconstruire la scène hyperspectrale à partir d'un petit nombre d'acquisitions optimisées, chacune mesurant un mélange aléatoire des données spectrales.

En pratique, les mesures sont réalisées grâce à un prototype d'imager développé au LAAS-CNRS, les différents mélanges spectraux étant assurés par un masque à micro-miroir comme ceux des projecteurs vidéo.

Cette approche permet de réduire d'un ordre de grandeur le nombre d'acquisitions nécessaires à la reconstruction de scènes hyperspectrales.

Contacts : Élisabeth Hemsley, [elizabeth.hemsley@laas.fr](mailto:elizabeth.hemsley@laas.fr), Antoine Monmayrant, [antoine.monmayrant@laas.fr](mailto:antoine.monmayrant@laas.fr), équipe PHOTO

En savoir plus : *Optimized coded aperture for frugal hyperspectral image recovery using a dual-disperser system*, E. Hemsley, I. Ardi, S. Lacroix, H. Carfantan, A. Monmayrant, *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.*, 37(12), 1916-1926 (2020).

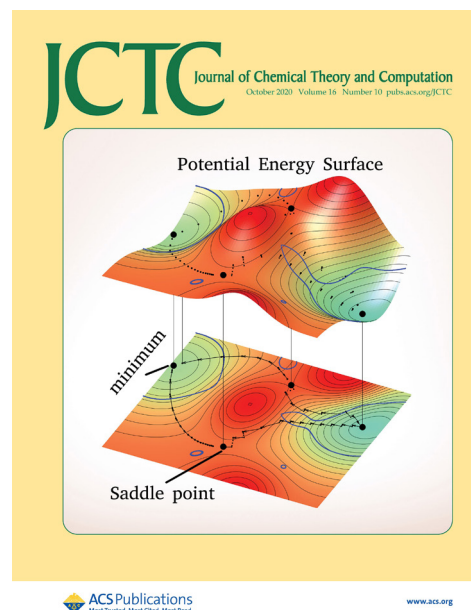
# Atteindre le sommet ! pour caractériser exactement la cinétique des diffusions atomiques

Identifier les états de transition des diffusions atomiques est essentiel pour comprendre la cinétique des réactions chimiques et l'évolution de la microstructure des matériaux. En raison de la nature évanescence de ces états de transition et de la présence de mécanismes de diffusion complexes sous-jacents aux transitions, l'exploration de la surface d'énergie potentielle des matériaux reste un défi majeur pour la chimie computationnelle moderne et la physique de l'état solide.

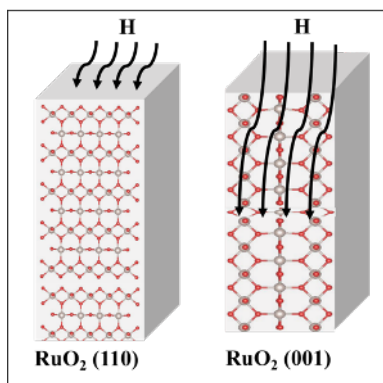
L'équipe M3 en collaboration avec le Professeur Normand Mousseau de l'Université de Montréal a revisité la Technique d'Activation Relaxation afin de réduire considérablement ses coûts lorsqu'elle est utilisée avec la théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT pour Density Functional Theory en anglais). Le couplage réalisé qui permet de caractériser exactement les diffusions atomiques à la précision de l'ab initio, se présente aujourd'hui comme une alternative majeure et plus efficace aux autres méthodes d'exploration des chemins de réaction qui font référence dans le domaine du calcul à l'échelle atomique.

Contact : Anne Hémercyck, [anne.hemeryck@laas.fr](mailto:anne.hemeryck@laas.fr), équipe M3

En savoir plus : *Finding reaction pathways and transition states: r-ARTn and d-ARTn as an efficient and versatile alternative to string approaches*, A. Jay, C. Huet, N. Salles, M. Gunde, L. Martin-Samos, N. Richard, G. Landa, V. Goiffon, S. de Gironcoli, A. Hémercyck, N. Mousseau, *Journal of Chemical Theory and Computation* 16, 6726-673 (2020).



## Vers une meilleure compréhension du stockage pseudocapacitif



L'oxyde de ruthénium est le matériau pseudocapacitif par excellence pour ses applications dans le stockage de l'énergie. Il possède une bonne réversibilité électrochimique via ses différents états d'oxydation (de +II à +VII), et une capacité spécifique surpassant tous les autres matériaux d'électrode. Cependant, ces remarquables propriétés ne sont observées qu'avec du RuO<sub>2</sub> hydraté en phase amorphe, et curieusement pas avec du RuO<sub>2</sub> cristallin.

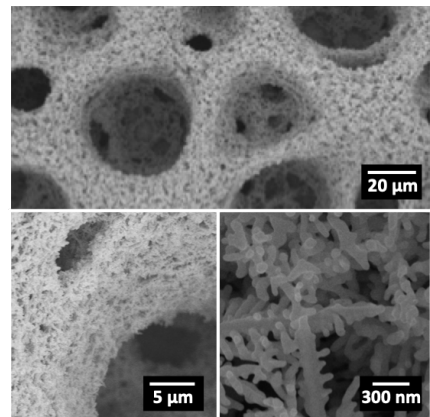
Pour la première fois, il a été montré par des modélisations DFT au sein de l'équipe NEO que l'orientation cristalline jouait un rôle primordial dans le stockage de charge du RuO<sub>2</sub> cristallin, en favorisant ou non la migration des protons H<sup>+</sup> dans le matériau actif. Ces modélisations ont été joliment corroborées par des mesures électrochimiques ouvrant la voie à une meilleure compréhension du mécanisme de stockage de charge pseudocapacitif.

Contact : David Pech, [david.pech@laas.fr](mailto:david.pech@laas.fr), équipe NEO

En savoir plus : *Rethinking pseudocapacitance: a way to harness charge storage of crystalline RuO<sub>2</sub>*, A. Jadon, S. Prabhudev, G. Buvat, S. G. Patnaik, M. Djafari-Rouhani, A. Estève, D. Guay, D. Pech, *ACS Applied Energy Materials*, 3, 4144-4148 (2020).

## Anode de micro-batterie ultra-stable

L'extension de la durée de vie des micro-batteries Li-ion est l'une de ses fonctionnalités les plus recherchées à l'aube de l'internet des objets et reste un obstacle difficile à surmonter. L'équipe NEO a développé une anode poreuse ultra-stable à base d'alliage SnAu capable de cycliser 6000 cycles de charge/décharge avec une capacité spécifique supérieure à  $100 \mu\text{Ah}/\text{cm}^2$  à 3C. Par ailleurs, ce nouveau matériau d'anode présente un potentiel très proche du Li (0,2 V vs. Li) et une des capacités surfaciques les plus élevées rapportées dans la littérature ( $7,3 \text{ mAh}/\text{cm}^2$  à 0,1C). Des modélisations DFT indiquent que cette stabilité exceptionnelle est due à une expansion volumique limitée lors du cyclage. Cette découverte ouvre de nouvelles perspectives dans la conception de micro-batteries à longue durée de vie pour les systèmes embarqués.

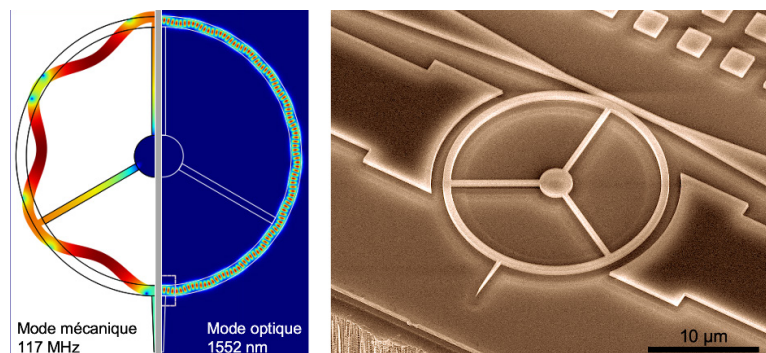


Contact : David Pech, david.pech@laas.fr, équipe NEO

En savoir plus : *High areal capacity porous Sn-Au alloys with long cycle life for Li-ion microbatterie*, S.G. Patnaik, A. Jadon, C.C.H. Tran, A. Estève, D. Guay, D. Pech, *Scientific Reports*, 10, 10405 (2020).

## Vers un microscope à force atomique optomécanique

Le LAAS-CNRS poursuit l'aventure, avec MPO, l'IEMN, le CEA-LETI et Vmicro SAS, pour mettre au point une sonde de microscope à force atomique (AFM) ultra-rapide exploitant l'interaction optomécanique. Le fonctionnement tout optique de cette sonde a été démontré à des fréquences mécaniques dépassant 100 MHz, cent fois au-dessus de la fréquence des sondes AFM courantes, avec une sensibilité permettant de détecter le mouvement Brownien d'une amplitude d'un dixième de femtomètre. Des expériences d'interaction mécanique entre la sonde optomécanique et un objet ont confirmé la sensibilité aux forces extérieures dans la configuration de fonctionnement d'un AFM standard. Ces résultats ont été publiés dans la revue *Nanoscale*. Un AFM a été spécifiquement conçu et construit par le LAAS-CNRS pour tirer parti des performances de la sonde optomécanique, nécessitant de développer une chaîne de traitement du signal fonctionnant à haute vitesse. Dans ce cadre, l'implémentation d'une méthode de démodulation à très faible latence de calcul a conduit à une publication dans le journal *IEEE Transactions on Control Systems Technology*.



© CNRS

(gauche) Modélisation par éléments finis du mode mécanique et du mode optique du résonateur formant le cœur de la sonde AFM optomécanique.  
(droite) Image de microscopie électronique à balayage d'une sonde optomécanique réalisée sur silicium avec son guide de couplage optique et sa nano-pointe.

Contact : Bernard Legrand, bernard.legrand@laas.fr, équipe MEMS

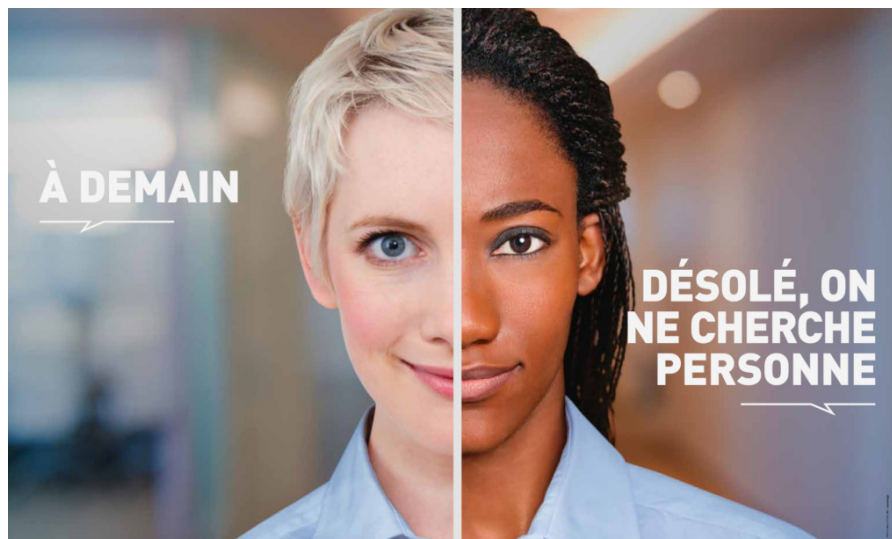
En savoir plus : *Optomechanical resonating probe for very high frequency sensing of atomic forces*, E.P. Allain, L. Schwab, C. Mismar, M. Gély, E. Mairiaux, M. Hermouet, B. Walter, G. Leo, S. Hentz, M. Faucher, G. Jourdan, B. Legrand, and I. Favero, *Nanoscale*, 12, 2939-2945 (2020) / *Low Latency Demodulation for High-Frequency Atomic Force Microscopy Probes*, D. Lagrange, N. Mauran, L. Schwab, and B. Legrand, *IEEE Transactions on Control Systems Technology* (2020).

## IA : l'explicabilité n'engendre pas la confiance

L'explicabilité des systèmes d'intelligence artificielle apportera-t-elle la confiance des utilisateurs confrontés aux décisions des IA ? Probablement pas.

En effet, nous montrons dans cet article publié dans la revue *Nature Machine Intelligence* qu'il est très facile pour une IA malveillante de falsifier des explications.

Pour l'illustrer, nous partons d'une analogie entre le videur d'une boîte de nuit, qui décide pour chaque client s'il peut entrer ou pas et un classifieur, qui attribue un label à chaque requête. Obligeons notre videur à donner une explication pour chaque décision. Puisque rien n'empêche le videur de mentir, il peut librement refuser l'entrée à un individu pour des raisons discriminatoires (e.g. son ethnie), mais invoquer d'autres raisons dans son explication (e.g. sa tenue). Pire : puisqu'on ne peut pas «lire» dans la tête d'un videur (ou d'un classifieur en boîte noire) cette manipulation n'est pas détectable pour un utilisateur isolé.



Une solution : tester et recouper les explications et décisions rendues sur de larges ensembles d'utilisateurs afin d'en étudier la cohérence.

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

En savoir plus : *Remote explainability faces the bouncer problem*, E. Le Merrer, G. Trédan, *Nature Machine Intelligence*, *Nature Research*, 2 (9), 529-539 (2020).





## *Prix & distinctions*

- ◆ Christophe Vieu & Luiz Lavado Villa, lauréats de la 5<sup>e</sup> vague du programme Prématuration CNRS
- ◆ Matthieu Barreau, prix des meilleures thèses 2020 du GdR MACS et du Club EEA
- ◆ Ali Maziz, prix «*Young Scientist Award*» lors du MINE 2020
- ◆ Anaïs Chalard, prix de thèse de l'École de chimie de Rennes
- ◆ Qiang Pan, Best Paper Award à l'ICICT 2020
- ◆ La start-up 3DiSTechnologies, prix «*Process of the year*» de 3D InCites
- ◆ L'outil TINA de l'équipe VERTICS, Médaille d'or de la compétition MCC 2020
- ◆ Imane Oussakel, 2<sup>e</sup> place du Prix MT180 de France 3
- ◆ Le logiciel Mistrale 2.0, deux médailles de bronze au MiniZinc Challenge 2020

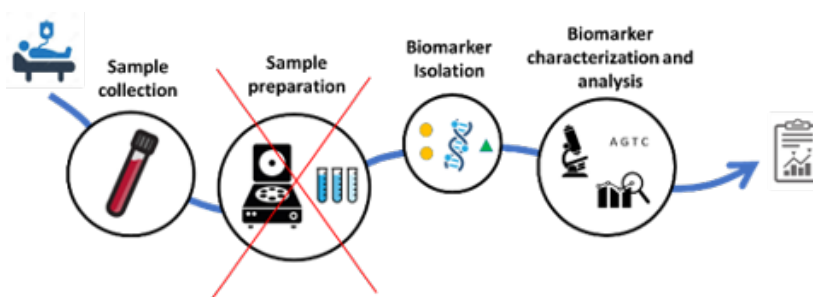
## Christophe Vieu & Luiz Lavado Villa, lauréats de la 5<sup>e</sup> vague du programme Prématuration CNRS

À la suite de la 5<sup>e</sup> vague du programme prématuration du CNRS<sup>1</sup>, présentée en octobre 2019, onze projets ont été sélectionnés au mois de janvier 2020 parmi lesquels deux sont portés par Christophe Vieu, de l'équipe ELiA et Luiz Fernando Lavado Villa de l'équipe ISGE.

Les projets retenus proposent des innovations technologiques dans des domaines allant de la chimie pharmaceutique à l'énergie et l'environnement en passant par l'ingénierie et matériaux. Tous les projets lauréats ont bénéficié d'un soutien financier et d'un accompagnement ad hoc en phase de prématuration par le CNRS.

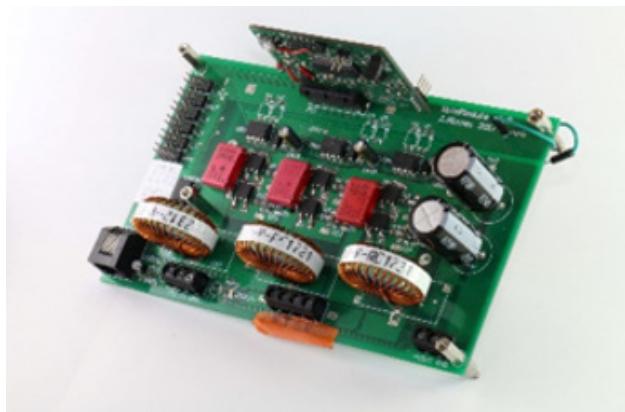
### COMBIOPSIE - Procédé de biopsie liquide combinant l'isolation de plusieurs biomarqueurs à partir d'un microvolume de sang

Christophe Vieu, chercheur au sein de l'équipe ELiA et professeur à l'INSA propose dans son projet de mener une étude chiffrée pour l'industrialisation du procédé de fabrication d'un dispositif d'analyse médicale qui se base sur la capture combinée de plusieurs biomarqueurs circulants d'intérêt en oncologie. Ceux-ci fonctionneraient directement sur du sang sans aucune étape de préparation préalable, le rendant compatible avec la routine clinique.



### OwnTech, Open source power Electronics Technology

Luiz Fernando Lavado Villa, enseignant-chercheur au sein de l'équipe ISGE et à l'Université Paul Sabatier développe une électronique de puissance modulaire qui se compose de quatre blocs fonctionnels : un convertisseur, son logiciel embarqué, un logiciel de gestion de l'énergie et un algorithme dédié à l'apprentissage machine. L'action prématuration a deux objectifs. Le premier est de réaliser un démonstrateur intégrant les quatre blocs et proposer une suite technologique open-source et polyvalente permettant la gestion des flux de puissance issus de différentes sources de courant (DC ou AC) et les adapter en fonction du besoin (batteries, photovoltaïques, petit éolien, LED...). Le deuxième est de lancer une communauté d'utilisateurs internationale de cette suite technologique.



<sup>1</sup>L'objectif du programme prématuration mis en place par le CNRS est de soutenir les toutes premières étapes de développement de projets émergents à fort potentiel d'innovation. Il s'agit d'accompagner l'étape de prématuration en fournissant des recommandations et les moyens financiers pour y arriver.

## Matthieu Barreau, prix des meilleures thèses 2020 du GdR MACS et du Club EEA

Le 14 avril, Matthieu Barreau, doctorant au sein de l'équipe MAC, a reçu le prix des meilleures thèses 2020 par le GdR MACS et de la section automatique du Club EEA. Ses travaux s'intitulent «*Stability analysis of coupled ordinary differential systems with a string equation: application to a drilling mechanism*».



## Ali Maziz, prix «Young Scientist Award» lors du MINE 2020

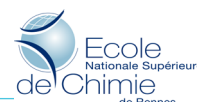


Ali Maziz, chercheur au sein de l'équipe MEMS, a reçu le prix du «Young Scientist Award». Invité en tant qu'orateur lors de la 7<sup>e</sup> édition du «Microsystems & Nanoengineering Summit» (MINE2020), ce prix lui a été remis le 10 juillet pour ses travaux remarquables et sa présentation sur les polymères conducteurs et leur intégration dans les domaines de la biotechnologie et la santé.

Ce symposium a pour objectif de rassembler des scientifiques de pointe et des jeunes chercheurs du monde entier pour traiter de l'état de l'art et de l'avenir des micro et nanotechnologies. Organisé par l'Institut de recherche sur l'information aérospatiale (AIR) et l'Académie chinoise des sciences (CAS), cet événement a eu lieu en visioconférence, réunissant plus de 25 800 participants connectés.

Ali Maziz fait partie des 18 lauréats Jeunes scientifiques exceptionnels sélectionnés par le comité.

## Anaïs Chalard, prix de thèse de l'École de chimie de Rennes



Anaïs Chalard, ancienne doctorante au sein de l'équipe MILE du LAAS-CNRS et du Laboratoire des interactions moléculaires et réactivité chimique et photochimique (IMRCP), a reçu le 22 octobre, le second prix de thèse «École de chimie de Rennes – René Dabard».

Attribué par le Fonds de dotation de l'ENSCR, ce prix récompense ses travaux sur les gélifiants supramoléculaires comme support de culture cellulaire. Sa thèse a été réalisée en collaboration avec l'unité ToNIC de l'INSERM à l'Université Paul Sabatier à Toulouse.

## Qiang Pan, Best Paper Award à l'ICICT 2020



Qiang Pan, doctorant au sein de l'équipe S4M grâce au programme de bourse China Scholarship Council, a reçu le prix du meilleur papier lors de la «10<sup>th</sup> annual International Conference of Information and Communication Technology» - ICICT 2020 qui s'est déroulée du 13 au 15 novembre à Wuhan en Chine.

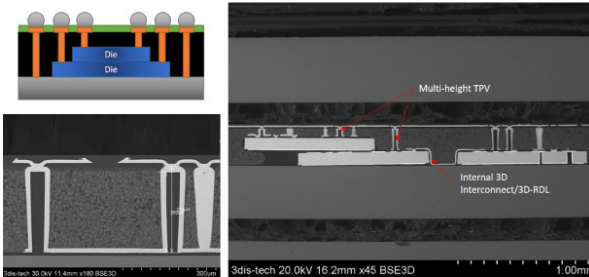
Il a été récompensé pour son article intitulé «*Home sleep monitoring based on wrist movement data processing*» qui présente un dispositif de détection des phases du sommeil basé sur la seule analyse des mouvements mesurés par un patch connecté au poignet et des algorithmes associés qui montrent des performances équivalentes aux dispositifs référencés du commerce.

## La start-up 3DiSTechnologies, prix «Process of the year» de 3D InCites



La start-up 3DiSTechnologies, lancée par Thierry Parra, Ayad Ghannam de l'équipe MOST et David Bourrier du service TEAM en 2014, a obtenu un prix «Process of the year».

Remis à l'issue du concours des 3D InCites Awards 2020<sup>1</sup> le 14 février, ce prix récompense un procédé technologique permettant la fabrication de pistes métalliques 3D pour réaliser des interconnexions compactes et performantes. Un procédé innovant qui a pu être développé grâce aux équipements du laboratoire.



Témoignant du haut niveau de la technologie, cette distinction constitue un bel argument pour la suite du développement de la société dans le domaine du packaging pour les applications 5G ou pour l'Internet des objets.

Trous métallisés à travers le boîtier (TPV pour «Thru Package Vias») de différentes hauteurs fabriqués grâce au procédé de 3DiSTechnologies

<sup>1</sup>Le concours 3D InCites rassemble de grandes entreprises et de grands organismes internationaux travaillant dans le domaine de l'intégration 3D des systèmes et de l'intégration hétérogène.

## L'outil TINA de l'équipe VERTICS, médaille d'or de la compétition MCC 2020



Pour la seconde année consécutive, l'outil TINA développé par l'équipe VERTICS a obtenu une médaille d'or lors de la Model-Checking Contest, une compétition de model-checkers (modèles-vérificateurs) pour la vérification de systèmes concurrents qui s'est déroulée au moins de juin.

L'outil est arrivé premier dans la catégorie «StateSpace» face à six autres concurrents.

Tina est une boîte à outils pour l'analyse de Time Petri Nets et Frac, un compilateur pour le langage de spécification Fiacre.

## Imane Oussakel, 2<sup>e</sup> place du Prix MT180 de France 3

Doctorante au sein des équipes RISC et SARA, Imane a gagné le deuxième prix France 3 pour sa thèse «4G/5G cellular networks metrology and management» présentée initialement pour le concours *Ma Thèse en 180 secondes* dont les finales régionales et nationales ont été annulées. A cette occasion, sa prestation sera retranscrite en BD et intitulée «L'intégration de l'IA pour les réseaux 4G/5G pour une conduite sécuritaire». Imane a été interviewée lors de la Nuit des chercheurs, chercheuses 2020.



## Le logiciel Mistral 2.0, deux médailles de bronze au MiniZinc Challenge 2020



Le 11 septembre, l'équipe ROC a gagné deux médailles de bronze pour leur logiciel appelé Mistral 2.0 à la compétition des solveurs par contraintes, MiniZinc Challenge 2020.



# *Projets européens, nationaux & internationaux*

- ◆ 3D-BEAM-FLEX – lien optique auto-écrit et flexible entre un laser et une fibre
- ◆ AutoBioTip – Automatisation des mesures de mécanobiologie par AFM et leur analyse par apprentissage automatique
- ◆ IDROMEL – Vers des objets connectés plus sûrs face aux attaques par canaux de fuite
- ◆ PICSONDE – Circuit intégré photonique avec système sur puce pour capteur de déplacement sub-picométrique embarqué
- ◆ ROLLMOPS – Un résonateur optique fibré à ultra-haut facteur de qualité pour la génération de signaux micro-onde de haute pureté spectrale
- ◆ ARPON – Une plateforme robotisée autonome pour la navigation dans les vergers
- ◆ AI4HRI – L'intelligence artificielle pour l'interaction Humain- Robot
- ◆ TRAVEL – Une nouvelle électrode transparente pour les VCSELs
- ◆ FVLLMONTI – Vers des microprocesseurs neuroinspirés à base d'architecture de transistors verticaux à nanofils intégrés en 3D
- ◆ TARIS – Testing agricultural robots in simulation
- ◆ EMAPS-Cardio – Des scaffolds électromécaniques pour l'ingénierie tissulaire cardiaque
- ◆ MUNDFAB – Certains l'aiment froid : modélisation de procédés à faible bilan thermique pour les nanodispositifs du futur
- ◆ SOFTANET – Réseaux programmables pour la Défense
- ◆ Plateforme PROOF
- ◆ Plateforme de micro et nano technologies

# 3D-BEAM-FLEX – lien optique auto-écrit et flexible entre un laser et une fibre

Notre société numérique a plus en plus recours aux communications à distance. Dans ce contexte, disposer de systèmes d'interconnexions optiques efficaces et bas coût s'avère crucial. Les VCSELs (diode lasers à émission verticale) émettant dans le proche-infrarouge (NIR) sont des sources clés pour ces systèmes, notamment dans les data-centers (850 nm). Ce succès est dû à leur faible consommation, leur fonctionnement matriciel ou encore à leurs propriétés de modulation à haut débit. Toutefois, leur couplage avec une fibre optique reste une étape longue et coûteuse, en raison de faibles tolérances aux désalignements (~1µm pour les composants monomodes). De plus, il n'existe pas de méthode simple et collective pour fabriquer un lien optique coudé, dans lequel le faisceau VCSEL, émis verticalement, est redirigé dans le plan horizontal des fibres.

Le projet ANR 3D-BEAM-FLEX propose de démontrer la fabrication de guides d'onde continus et flexibles entre des matrices de VCSELs et des fibres monomodes, en explorant les mécanismes d'auto-écriture dans des matériaux photopolymères sensibles dans le NIR (à 850 nm, puis 1.31 µm et 1.55 µm pour les télécom). Notre procédé est basé sur une photo-fabrication en deux étapes : dans le NIR et dans l'UV (fig. 1) [1-2]. Des résultats prometteurs de couplage dans le visible ont été déjà obtenus entre deux fibres monomodes (fig. 2). Nous proposons d'exploiter les nouvelles potentialités offertes par l'impression 3D pour intégrer ce lien flexible dans un module compact et pliable à 90°. Des retombées dans le domaine des communications et de la spectroscopie miniaturisée sont attendues.

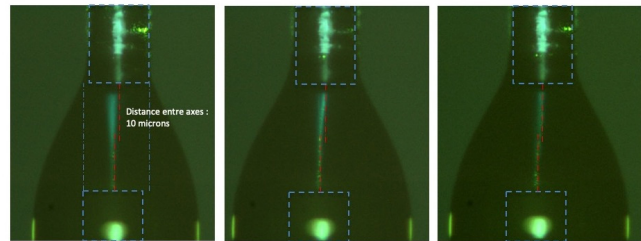
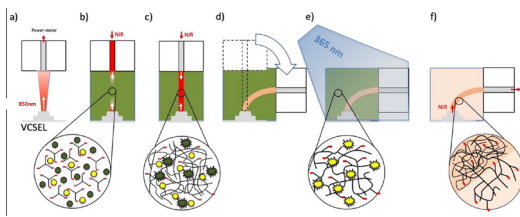


Fig. 1 : Principe du procédé [1] : a) pré-alignement VCSEL-fibre. b) insertion de la formulation photosensible c) Écriture NIR du guide flexible auto-aligné d) Rotation de la fibre à 90° e) Irradiation UV et stabilisation optique et mécanique du lien f) Lien coudé final obtenu.

Fig. 2 : Résultats préliminaires de photo-fabrication entre deux fibres monomodes en vis-à-vis : un couplage supérieur à 99 % est obtenu après la première irradiation malgré un désalignement initial de ~10µm.

Contact : Véronique Bardinal, veronique.bardinal@laas.fr, équipe MICA

References :

- [1] Brevet IS2M-LAAS WO2017103178A1, *Method for making a self-aligned optical guide between and optical source and an optical fiber*, O. Soppera, V. Bardinal, F. Diot, T. Camps, B. Reig, C. Ecoffet, E. Daran et J.B. Doucet (2017).
- [2] I. Dika et al., *Near infrared photopolymer for micro-optics applications*, Journal of Polymer Science 58, 1796-1809 (2020).

# AutoBioTip – Automatisation des mesures de mécanobiologie par AFM et leur analyse par apprentissage automatique

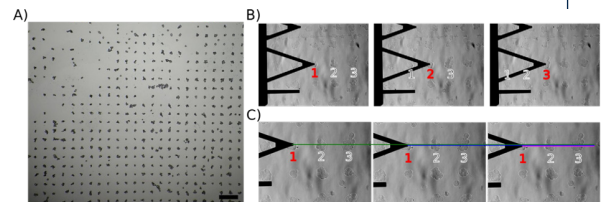
Autobiotip a pour objectif d'éveiller l'AFM-Bio aux grands échantillons. Nous proposons une méthode d'automatisation des mesures de force pour générer des données sur au moins 1000 cellules. Le but est d'accéder à l'hétérogénéité des propriétés mécanobiologiques d'une population cellulaire. En effet, Le paradigme pour les mesures de force par AFM est de réaliser des milliers de courbes de force (CFs) sur seulement quelques cellules et notre première hypothèse est que ce paradigme conduit à ignorer une partie de l'information biologique contenue dans l'hétérogénéité intrinsèque des échantillons.

Pour tester cette hypothèse, nous avons donc pour objectif d'automatiser les mesures de force par AFM sur les cellules vivantes ; le but étant d'être capable d'acquérir et analyser des données sur 1000 cellules, en 2 heures.

Notre seconde hypothèse est que l'analyse par apprentissage automatique, sans a priori, des grandes quantités de données mécanobiologiques issues des CFs, conduira à l'émergence de signaux, jusque-là ignorés par les analyses biophysiques a priori (élasticité, adhésion, dissipation). L'objectif sera donc de classifier les CFs obtenues, sans a priori de signification biophysique, par un processus d'apprentissage automatique. Les analyses classiques de biophysique et les méthodes issues de l'apprentissage automatique seront adaptées pour extraire les informations mécanobiologiques issues des courbes de force (CFs).

L'équipe opérationnelle réunit des chercheurs de deux équipes du LAAS-CNRS (ELiA et DISCO), un ingénieur de recherche de RESTORE, des membres de l'IPN-CIC (Mexique), et le laboratoire commun BIOSOFT.

Contact : Etienne Dague, etienne.dague@laas.fr, équipe ELIA



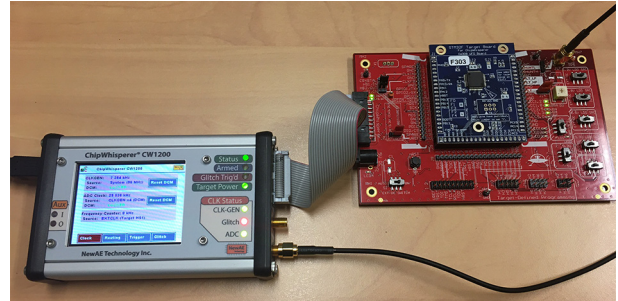
Images optiques des réseaux de cellules BIOSOFT. A) Résultats de l'immobilisation, sur chaque point, il est possible de voir de petits groupes de cellules, la barre est de 250 µm. B) Montre le mouvement de la pointe d'une cellule à l'autre. C) Trois premières positions d'indentation (vert/bleu/magenta) sur la première cellule.

# IDROMEL – Vers des objets connectés plus sûrs face aux attaques par canaux de fuite



## IDR( )MEL

est un projet ANR PRCE impliquant le LAAS-CNRS, le CEA, Sorbonne université, l'IRISA et la société Arm, qui vise à renforcer la sécurité des objets connectés dans un contexte de forte croissance du domaine, porté par l'industrie 4.0, les cités intelligentes ou encore les transports autonomes. Ces objets, déployés dans l'environnement, font l'objet d'attaques ciblées qui visent à exploiter des quantités physiques observables de l'extérieur lorsque le système est en fonctionnement (consommation énergétique, rayonnement électromagnétique, ...). Aujourd'hui, ces attaques sont considérées comme critiques car elles sont, avec les attaques dites par injection de fautes, parmi les plus efficaces pour casser la sécurité d'un système. Des méthodes existent pour renforcer leur sécurité, notamment en rendant la remontée d'information sensible trop difficile du point de vue d'un attaquant (insertion de délais aléatoires, changement de l'ordre des opérations, insertion d'instructions inutiles, ...) ou en rendant l'exécution indépendante du secret (technique de masquage). Ces techniques reposent sur un modèle abstrait du système modélisant les fuites. Cependant, même après renforcement, on observe une réduction du niveau de sécurité attendu. Cette réduction est due à des effets de la micro-architecture de l'objet, non prise en compte car mal connue et complexe. IDROMEL vise donc à améliorer notre compréhension des fuites de la micro-architecture, afin de contribuer à de nouvelles méthodes et outils pour sécuriser ces objets. En particulier, IDROMEL a pour ambition de fournir des méthodes d'évaluation de la sécurité, de nouveaux compilateurs et de nouveaux processeurs plus sûrs.

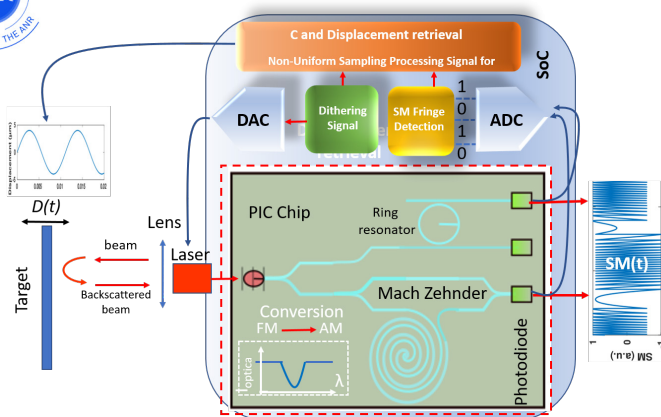


Contact : Vincent Migliore, [vincent.migliore@laas.fr](mailto:vincent.migliore@laas.fr), équipe TSF

# PICSONDE – Circuit intégré photonique avec système sur puce pour capteur de déplacement sub-picométrique embarqué



Un des défis clé de la maintenance prédictive est de pouvoir fournir une estimation précise du niveau de dégradation des équipements tant au niveau structurel que des matériaux employés. Dans ce contexte, de nombreuses études proposent des approches bas coût peu invasives pour prévenir et réduire le taux de pannes critiques liées aux pièces d'usure. Ces techniques reposent principalement sur des analyses vibratoires, acoustiques, électriques ou des inspections visuelles. C'est dans ce domaine que le projet PICSONDE ambitionne de se positionner comme alternative sans contact, non destructive et très haute résolution. PICSONDE consiste à concevoir et réaliser un capteur embarqué basé sur l'interférométrie par rétro-injection optique (RIO) où la diode laser joue à la fois le rôle de source lumineuse, de micro-interféromètre et de détecteur pour mesurer et analyser les vibrations. Afin d'accéder aux limites quantiques du principe physique de RIO (i.e. densité spectrale de bruit de 0.1 pm/√Hz), le faisceau laser émis sera tout d'abord pré-traité optiquement par un circuit photonique intégré sur substrat silicium (PIC). Puis une fois converti en signal électrique et numérisé, un système sur puce (SoC) traitera l'information contenue en se basant sur la théorie de l'échantillonnage non-uniforme. En combinant ainsi le laser avec le PIC et le SoC, un prototype du capteur sera fabriqué et des tests in situ seront menés. Cette nouvelle génération de micro-capteur interférométrique pourra aussi être utilisée pour sonder optiquement des MEMS ainsi que pour réaliser des capteurs réfractométriques de haute résolution en (bio)chimie.



l'information contenue en se basant sur la théorie de l'échantillonnage non-uniforme. En combinant ainsi le laser avec le PIC et le SoC, un prototype du capteur sera fabriqué et des tests in situ seront menés. Cette nouvelle génération de micro-capteur interférométrique pourra aussi être utilisée pour sonder optiquement des MEMS ainsi que pour réaliser des capteurs réfractométriques de haute résolution en (bio)chimie.

Contact : Olivier Bernal, [olivier.bernal@laas.fr](mailto:olivier.bernal@laas.fr), équipe OASIS

# ROLLMOPS – Un résonateur optique fibré à ultra-haut facteur de qualité pour la génération de signaux micro-onde de haute pureté spectrale

Le consortium Thales R&T (TRT-Fr), LAAS-CNRS, Institut Fresnel et Institut de recherche mathématique de Rennes propose de dépasser les limites technologiques actuelles dans le domaine des performances en bruit de phase de signaux de référence micro-ondes générés par des dispositifs de type oscillateur optoélectroniques, afin de répondre aux besoins en télécommunications et défense dont l'évolution actuelle nécessite de plus en plus d'équipements embarqués agiles, de bande passante croissante et optimisés en bruit. Ce consortium réunit les compétences et l'expertise nécessaires au dimensionnement, à la modélisation, à la fabrication et à l'optimisation de mini-résonateurs Fabry-Pérot fibrés de longueur centimétrique, délimités par des miroirs couches minces innovants. Ainsi nous comptons atteindre avec ces résonateurs un facteur de qualité dépassant  $10^8$  pour les résonateurs passifs et au-delà par l'emploi de fibre dopée erbium, ce qui nous permettra d'atteindre les régimes de transparence et d'amplification sélective propice à l'exaltation du facteur de qualité. De plus, ces résonateurs répondront non seulement au compromis de finesse, mais aussi de reproductibilité de conception et de robustesse long terme de la fonction de couplage. L'excellente transparence des fibres optiques (à ce jour classé deuxième derrière le matériau cristallin  $\text{CaF}_2$ ) et la pluralité des propriétés dispersives et non linéaires de ces guides, auxquelles s'additionne la large gamme des fibres amplificatrices dopées erbium, offriront une variété inégalée de guides résonants ne pouvant être proposée par les autres technologies de résonateurs optiques développés à ce jour.

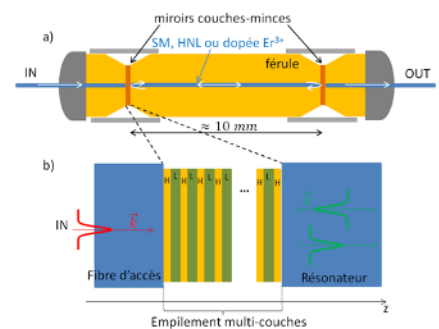
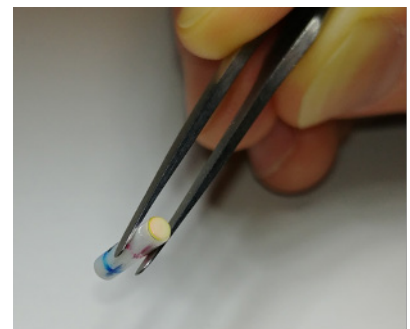


Schéma du résonateur Fabry-Pérot fibré



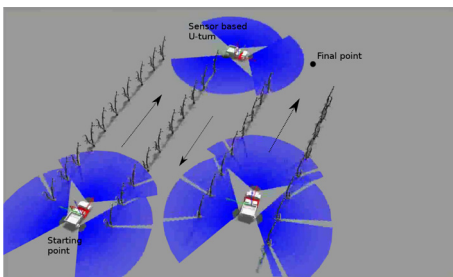
Première preuve de concept démontrant une finesse de 573 ( $Q=1.1 \cdot 10^7$ )

Contact : Arnaud Fernandez, arnaud.fernandez@laas.fr, équipe MOST



# ARPON – Une plateforme robotisée autonome pour la navigation dans les vergers

L'agriculture du XXI<sup>e</sup> siècle doit faire face à deux défis majeurs : d'une part, la demande croissante en nourriture et bio-carburant due à l'augmentation de la population mondiale, qui ne peut être envisagée que dans un cadre de développement durable ; d'autre part, le manque de main-d'œuvre du fait des salaires trop bas et de la pénibilité du travail. La robotique peut offrir des solutions pour répondre à ces enjeux sociétaux et environnementaux. Le projet ARPON (*Autonomous Robotic Platform for Orchard Navigation*) s'inscrit dans cette dynamique. Il s'agit d'un projet de recherche franco-brésilien financé par l'ANR et la FACEPE, impliquant deux partenaires : le LAAS-CNRS avec l'équipe RAP ; l'Université Fédérale de l'État du Pernambouc et plus particulièrement le CIn (centro de informatica) de Recife (Brésil). Il vise à donner à un robot mobile la capacité de naviguer de manière autonome dans un verger commercial. Les défis à relever sont nombreux du fait de l'environnement considéré. Tout d'abord, la canopée des arbres vient perturber (et même bloquer) le signal GPS permettant de localiser le robot. De plus, le verger est un environnement naturel. Il est donc par essence très variable et très dynamique : changements d'aspect selon les saisons ou les opérations effectuées, terrain inégal, plantations irrégulières, présence de l'homme ou d'animaux, ... sont autant d'événements imprévus que la stratégie de navigation devra gérer. Le projet ARPON abordera des problématiques de contrôle, vision et intelligence artificielle afin de proposer une preuve de concept de navigation guidée par la vision, validée dans le contexte réaliste de vergers commerciaux.

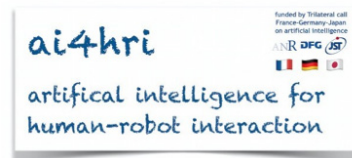


Contact : Viviane Cadenat, viviane.cadenat@laas.fr, équipe RAP

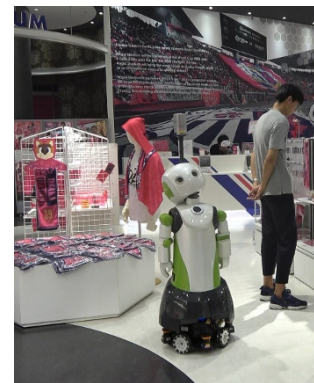
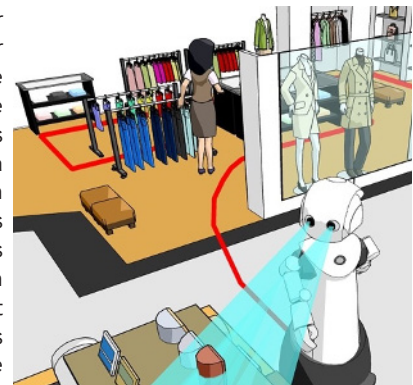




# AI4HRI – L'intelligence artificielle pour l'interaction Humain-Robot



Le projet AI4HRI vise à construire une architecture open-source basée sur l'IA pour la gestion des interactions humain-robot, comme dans le cas pour un robot-équipier aidant dans un magasin de détail. Le robot présent dans le magasin pourra aider le commerçant à assurer le fonctionnement du magasin mais aussi aider les clients de diverses manières. Par exemple, le robot devra connaître le magasin et les articles qui s'y trouvent et être en mesure de détecter des changements. Le robot devra être capable d'interagir avec les clients d'une manière qui leur semble naturelle, en les saluant, en leur donnant des informations sur le magasin, en les guidant vers les articles souhaités, etc. Le robot devra aussi être capable de coordonner ses actions avec les autres personnes travaillant dans le magasin. Bien entendu, il s'agit d'un cas d'utilisation. Nous avons pour objectif de concevoir l'architecture du projet et ses composants de manière à ce qu'ils puissent être utilisés dans d'autres contextes (à la maison, dans un atelier, etc.). Les principales technologies d'intelligence artificielle sur lesquelles nous nous concentrerons dans ce projet seront la prise de décision autonome, en particulier dans les systèmes multi-agents (planification d'actions conjointes humain-robot et l'exécution), la gestion des connaissances et le raisonnement associé, l'apprentissage et traitement des données (apprentissage des interactions sociales). Le projet AI4HRI a été sélectionné par l'ANR dans le cadre de l'appel trilatéral France-Allemagne-Japon sur l'intelligence artificielle. Les partenaires du projet sont : pour la France, le LAAS-CNRS, pour l'Allemagne, l'Institut d'intelligence artificielle de l'université de Brême, pour le Japon, l'université de Kyoto.



Contacts : Aurélie Clodic, aurelie.clodic@laas.fr, Rachid Alami, rachid.alami@laas.fr, équipe RIS

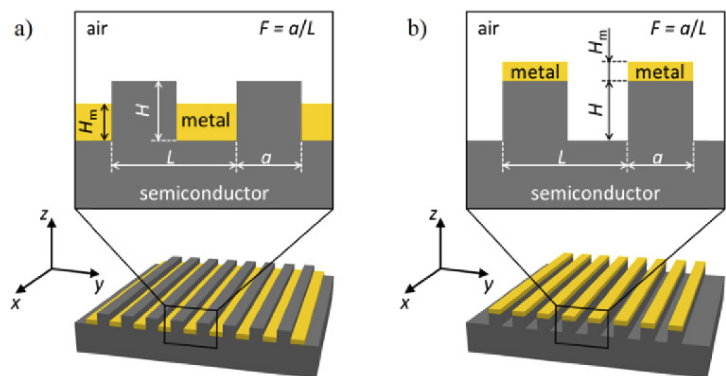


# TRAVEL – Une nouvelle électrode transparente pour les VCSELs



Le projet M-ERA.net TRAVEL est un projet collaboratif entre l'université polytechnique de Łódź, VIGO systems, l'université de technologie de Varsovie et le LAAS-CNRS. TRAVEL porte sur de nouveaux matériaux fonctionnels nanostructurés appliqués à des lasers à semi-conducteurs à émission de surface à cavité verticale (VCSEL) qui sont aujourd'hui sur le marché les sources de lumière cohérente les plus miniaturisées avec des tailles de quelques dizaines de micromètres. Nous proposons de développer de nouvelles électrodes transparentes à base de réseaux de diffraction en combinant la diffraction sub-longueur d'onde et la plasmonique.

L'utilisation de cette électrode fonctionnelle et ses excellentes propriétés à la fois de conduction électrique et de transmission optique, permettra d'améliorer les performances des VCSELs, qui sont largement utilisés dans plusieurs secteurs de l'industrie photonique et en très forte croissance ces dernières années avec des applications telles que les systèmes de communication à courte distance, les LIDAR, la télémétrie à temps de vol, la reconnaissance 3D, les véhicules autonomes, les robots et les drones. Comme le marché des VCSELs est très dynamique et que la production de lasers devrait doubler au cours des cinq prochaines années, la proposition peut contribuer de manière significative à l'efficacité énergétique de ces microlasers et à la réduction de l'utilisation de matériaux nocifs et difficiles à obtenir nécessaires à leur production. Plus largement, l'électrode transparente proposée sera plus performante que les solutions existantes pour l'application aux diodes électroluminescentes, aux détecteurs, aux cellules solaires et à l'optoélectronique interactive. Ce projet devrait ainsi générer d'autres travaux axés sur le développement et les applications d'électrodes transparentes pour d'autres dispositifs photoniques.



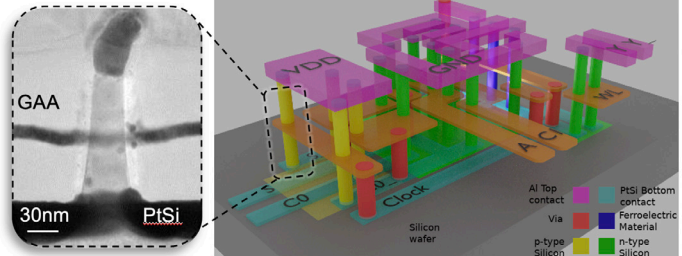
Configurations géométriques d'une électrode transparente associant un réseau sub-diffractif monolithique à fort contraste d'indice avec un réseau plasmonique métallique.

Contact : Guilhem Almuneau, guilhem.almuneau@laas.fr, équipe PHOTO

# FVLLMONTI – Vers des microprocesseurs neuroinspirés à base d'architecture de transistors verticaux à nanofils intégrés en 3D

Alors que l'intelligence artificielle (IA) et les techniques d'apprentissage automatique bénéficient d'un intérêt soutenu dans un large éventail de domaines d'application, le matériel informatique numérique actuel est connu pour être insuffisant pour mettre en œuvre efficacement l'IA, en particulier en termes d'efficacité énergétique. Les solutions nécessitent des implémentations basées sur des serveurs, ce qui soulève également des problèmes de protection des données et de confidentialité. De nouvelles percées technologiques couplant nanodispositifs et design d'architecture sont nécessaires pour permettre les prochaines révolutions de l'IA avec de nouvelles formes adaptées à ces technologies.

FVLLMONTI propose une intégration étroite des solutions logicielles et matérielles pour développer une démonstration technologique faiblement énergivore spécifiquement pensée pour l'IA. Le projet est basé sur la technologie brevetée transistor verticaux à nanofil développée par le LAAS-CNRS où son architecture verticale sans jonction à grille nanométrique apparaît particulièrement bien adaptée pour libérer le plein potentiel en densité et en performances de circuits non conventionnels réellement 3D. FVLLMONTI vise à imaginer une technologie de circuit à transistors verticaux capable de jouer le rôle d'élément mémoire et qui peut naturellement être empilée pour former des réseaux 3D de neurones, un peu comme un jeu de LEGO.



Le projet s'appuiera sur un consortium complémentaire couplant modélisation de dispositifs et architecture, GTS (Autriche) et IMS (France) s'intégrant dans un flux de conception au niveau circuit, INL (France) afin de générer la conception physique des démonstrateurs matériel par le LAAS-CNRS (France) et NaMLab (Allemagne), et à concevoir une architecture complète d'accélérateur IA 3D avec l'EPFL (Suisse). L'Europe investira 4.8 millions d'euros dans cet ambitieux projet dont presque 1 million d'euros pour supporter les travaux réalisés au LAAS-CNRS.

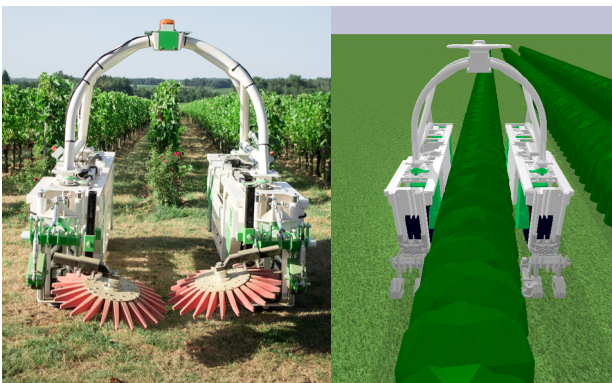
Contact : Guilhem Larrieu, [guilhem.larrieu@laas.fr](mailto:guilhem.larrieu@laas.fr), équipe MPN



# TARIS – Testing agricultural robots in simulation



L'utilisation de robots autonomes dans le secteur agricole est en pleine expansion pour des tâches de plus en plus complexes. Naïo Technologies à Toulouse développe des robots pour désherber, biner et assister à la récolte, libérant les exploitants de tâches chronophages, tout en réduisant l'utilisation de produits chimiques. Les technologies logicielles utilisées pour ces robots doivent faire face à un ensemble de situations complexes induites notamment par les incertitudes liées à l'environnement (légumes à formes et tailles variables, rangées inégales, obstacles imprévus, etc.). L'étape de validation de ces robots est donc complexe car il est impossible de tester sur le terrain toutes les situations auxquelles



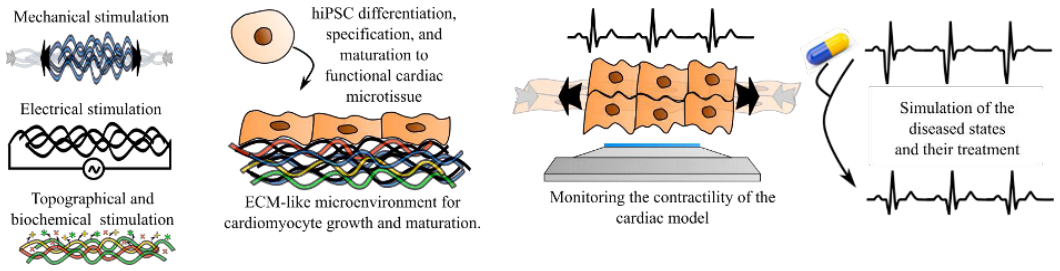
le robot pourrait être confronté. Aujourd'hui aucune norme n'est disponible pour guider les tests requis pour une certification. Compte tenu de ces problèmes, une approche consiste à réaliser des tests basés sur la simulation, où le robot est plongé dans des milliers de mondes virtuels comme pour un jeu vidéo. Le logiciel du robot peut ainsi être testé de manière plus complète, flexible, plus sûre, et moins coûteuse que dans le monde réel. Un défi majeur est alors la fidélité du simulateur, la création automatique et le choix des mondes virtuel qui seront testés parmi les innombrables possibilités. Dans ce projet, Naïo Technologies et le LAAS-CNRS développent une suite complète permettant de générer et sélectionner les mondes et les scénarios de test, lancer et exécuter les simulations, et analyser les résultats.

Contact : Jérémie Guiochet, [jeremie.guiochet@laas.fr](mailto:jeremie.guiochet@laas.fr), équipe TSF  
 Contacts Naïo Technologies : Simon Vernhes et Julien Dufour, [www.naio-technologies.com](http://www.naio-technologies.com)



# EMAPS-Cardio – Des scaffolds électromécaniques pour l'ingénierie tissulaire cardiaque

L'objectif de ce projet est d'élaborer une plateforme de croissance et de maturation de microtissus cardiaques pour obtenir des modèles organotypiques réalistes dans des états sains et malades. À cette fin, un microenvironnement biomimétique qui fournit tous les stimuli nécessaires pendant la différenciation et la maturation de cellules souches pluripotentes en cardiomyocytes sera développé. En particulier, des matrices électromécaniques à base de polymères conducteurs seront fabriquées et combinées avec des membranes bioactives pour optimiser la différenciation des cellules souches en cardiomyocytes de type adulte. Ces matrices seront ensuite intégrées soit dans un bioréacteur soit dans un dispositif réalisé par impression 3D pour permettre un suivi continu de la fonction cardiaque (contractilité et électrophysiologie). Cette plateforme sera utilisée pour simuler des tissus cardiaques sains et malades (cardiomyopathie et arythmie). Elle permettra de développer des modèles cardiaques plus réalistes pour appréhender plus finement les maladies cardiaques et tester des méthodes de traitements plus efficaces.



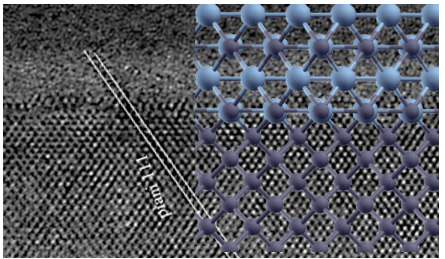
The concept of EMAPS-Cardio: mature, adult-like cardiac models will be realized by biomimetic stimulation

Contact : Christian Bergaud, christian.bergaud@laas.fr, équipe MEMS



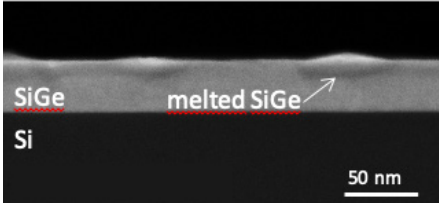
# MUNDFAB – Certains l'aiment froid : modélisation de procédés à faible bilan thermique pour les nanodispositifs du futur

L'industrie microélectronique a révolutionné nos modes de vie dans de nombreux domaines tels que l'informatique, la téléphonie, les transports ou la santé. Historiquement, l'amélioration constante des dispositifs a été possible grâce à la réduction incessante de leur taille, souvent accompagnée par l'introduction de nouveaux matériaux. Aujourd'hui, en atteignant les limites physiques de la miniaturisation, des solutions alternatives sont nécessaires, tel l'empilement vertical des composants (intégration 3D «monolithique») qui permet de doubler leur nombre à parité de surface utilisée. Dans ce cas, les étapes de fabrication de la couche supérieure (épitaxie, implantation, silicuration, oxydation) doivent se faire en conditions de faible bilan thermique afin de ne pas modifier le fonctionnement des composants de la couche inférieure. Pour cela, la température ne doit pas dépasser les 500°C. Alternativement, des recuits ultra-rapides par laser pulsé (quelques dizaines de nanosecondes) permettent de limiter la montée en température à la seule couche supérieure.



Modélisation du procédé de silicuration

Dans ce contexte, les simulateurs de procédé de fabrication de type TCAD (*Technology Computer-Aided Design*), largement utilisés pour réduire les coûts de développement des nouvelles technologies, montrent plusieurs limites, les modèles physiques sur lesquels ils sont construits étant inadéquats voire inexistantes. En proposant une forte synergie entre études expérimentales et théoriques, l'objectif du projet MUNDFAB est de comprendre et modéliser les différents phénomènes physiques associés aux procédés à faible bilan thermique, intégrer les nouveaux modèles physiques dans des simulateurs TCAD commerciaux et démontrer leur capacité de prédire les propriétés physiques des composants ainsi fabriqués.



Interface SiGe/Si après recuit laser observée au TEM

Avec une équipe de neuf personnes issues des équipes MPN et M3 (5 chercheurs, 3 post-doctorants et 1 doctorant), le LAAS-CNRS fournira une contribution considérable à tous les niveaux abordés dans le projet. Cela inclut l'élaboration et la caractérisation avancée de nanomatériaux, le développement des modèles physiques et leur transfert vers les simulateurs commerciaux, ainsi que la fabrication de démonstrateurs pour leur validation.

Contact : Fuccio Cristiano, fuccio.cristiano@laas.fr, équipe MPN



# SOFTANET - Réseaux programmables pour la Défense



Le projet SOFTANET (acronyme de *Software defined Tactical and theatre Network*) vise à étudier les avantages des réseaux programmables (*Software Defined Networks*) pour les réseaux militaires tactiques et opérationnels par le biais d'un démonstrateur technologique. L'idée principale consiste en la virtualisation de la connectivité, des ressources informatiques et du stockage des réseaux tactiques pour tirer parti des avantages liés au logiciel afin de garantir une efficacité technique et opérationnelle tout en répondant aux exigences de sécurité et de qualité des scénarios militaires.

Ce projet fait suite à une étude réalisée pour la DGA (projet ADN) sur l'optimisation de réseaux virtuels dans laquelle les possibilités offertes par un contrôle centralisé des ressources réseau sont mises en avant. Nous nous intéresserons cette fois à l'orchestration multi-domaines multi-technologies des réseaux interalliés.

Contact : Pascal Berthou, pascal.berthou@laas.fr, équipe SARA

## Plateforme PROOF

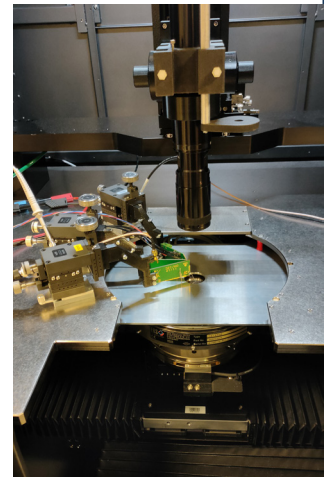


La plateforme PROOF («*Platform of Reliability tOOls for Failure analysis dedicated to wide bandgap devices*») est portée par le LAAS-CNRS avec pour objectif d'ouvrir et développer la plateforme de caractérisation pour l'étude de nouvelles filières de composants semi-conducteurs à large bande interdite tels que le nitrure de gallium, le carbure de silicium, le diamant... Les performances des composants basés sur ces matériaux «grand gap» annoncent une rupture technologique en phase avec la forte demande sociétale visant le développement des énergies renouvelables pour protéger notre environnement. Cette plateforme est accessible tant à la communauté scientifique qu'aux entreprises. Sa création même repose sur une synergie forte entre la recherche académique et le secteur industriel ; en plus du LAAS-CNRS et la Région Occitanie, de nombreux partenaires ont investi dans sa mise en place : Exagan, IRT Saint Exupéry, Spherea, Thalès Alenia Space et Vitesco Technologies.

Les objectifs scientifiques de PROOF sont ambitieux :

- > mise en place de nouveaux moyens de caractérisations complémentaires pour comprendre les mécanismes physiques propres à ces nouvelles technologies,
- > mener des études sur de nouveaux composants visant à évaluer les performances/fiabilité afin d'optimiser les dispositifs par retour technologique,
- > croisement de l'expertise et des moyens de caractérisation pour deux filières distinctes, celle dédiée à la commutation (composants de puissance basse fréquence) et celle orientée télécommunication (composants haute fréquence).


Contact : Laurent Bary, laurent.bary@laas.fr, service I2C



## Plateforme de micro et nano technologies

En 2020, la plateforme de micro et nanotechnologies du laboratoire a poursuivi le développement de compétences au travers de la mise en service de nouveaux équipements qui représentent un investissement total de près de 0.9 M€, dont

- > Le bâti de pulvérisation cathodique AC450CT, qui comprend 6 emplacements de cathode, les métaux actuellement disponibles sont Ti, Au, Cr, AuGeNi, NiPt. Il permet d'optimiser les contacts électriques des composants sur matériaux III-V.
- > L'équipement de gravure plasma Si500-DRIE est équipé d'une source plasma inductive planaire de lignes de gaz fluorés pour graver des profondeurs inférieures à 1  $\mu\text{m}$  dans : Si, SiOx, SiNx, polymères... ; dispose également de l'option «DRIE» afin d'effectuer des gravures profondes de silicium. Enfin Pour contrôler la gravure en temps réel, il dispose d'un interféromètre laser.
- > Le bâti de dépôt ALD sur Si ou autre matériau non compatible avec les technologies MOS. Il permet le dépôt de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Ru, RuOx en mode CVD par cycles (ALD thermique) ou en mode PECVD par cycles (PEALD).

Ces équipements ont été financés par le programme RTB-CNRS de l'ANR et le consolidator grant  3Dcap.

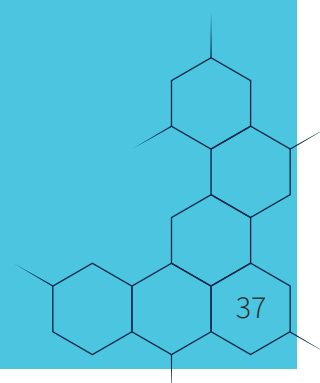
Contact : Hugues Granier, hugues.granier@laas.fr, service TEAM





# *Collaborations industrielles*

- ◆ Création de la startup TOWARD  
PAL-Robotics s'implante à Toulouse à travers la spin-off TOWARD Sas
- ◆ Deux chercheurs issus du LAAS-CNRS créent BeeMetrix,  
une startup spécialisée dans l'intelligence artificielle des objets

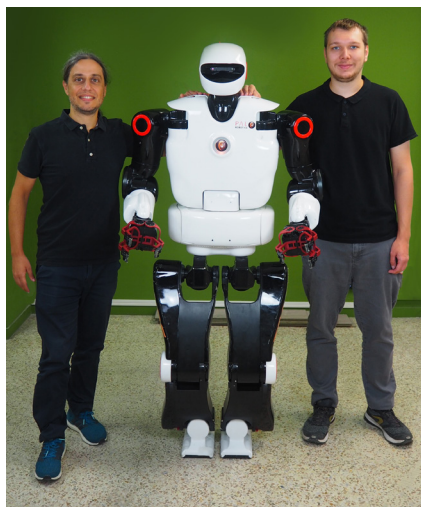




T O W A R D

## Création de la startup TOWARD

### PAL-Robotics s'implante à Toulouse à travers la spin-off TOWARD Sas



Toward SAS est une entreprise basée à Toulouse, qui travaille sur la conception de logiciel pour le contrôle et la génération de mouvement pour les robots. Toward possède un accord de collaboration en recherche avec PAL Robotics. Cette société basée à Barcelone est un leader européen en robotique humanoïde de service. Toward pourra ainsi exploiter et améliorer cette technologie. Toward distribuera et adaptera les robots et la technologie de PAL Robotics pour le marché français.

Le premier employé de Toward est Pierre Fernbach, ancien doctorant de l'équipe GEPETTO. Cette startup vise à renforcer le partenariat entre le LAAS-CNRS et PAL-Robotics sur les technologies clés de la génération de mouvements pour les robots complexes. Cette collaboration existe déjà sous plusieurs formes. A travers le projet Européen H2020 Memmo (coordonnée par N. Mansard de l'équipe GEPETTO), la collaboration a débouché sur la mise au point d'un contrôle en couple utilisant le modèle corps complet du robot sur un horizon de temps de quelques secondes. Cette méthode est réputée très difficile et rendue possible grâce à l'effort de développement d'un solveur numérique très efficace au sein de GEPETTO. La collaboration a également pris forme à travers les

spécifications, la création et l'amélioration continue du robot TALOS. Une des conséquences est la mise au point d'une électronique de puissance ouverte (pour TALOS et le robot quadrapède SOLO). Elle prend forme également à travers l'utilisation du robot TIAGO à la fois pour le laboratoire joint ROB4FAM et l'enseignement (Université de Toulouse III Paul Sabatier). Cette collaboration devrait évoluer vers un laboratoire joint en 2021.

Contact : Olivier Stasse, [olivier.stasse@laas.fr](mailto:olivier.stasse@laas.fr), équipe GEPETTO

## Deux chercheurs issus du LAAS-CNRS créent BeeMetrix, une startup spécialisée dans l'intelligence artificielle des objets



Lyamine Hedjazi, ancien doctorant du LAAS-CNRS, a créé la startup BeeMetrix avec Marie-Véronique Le Lann chercheure au LAAS-CNRS. La startup développe des solutions d'intelligence des objets (couplant IA et IoT) permettant aux entreprises de toute taille et de différents domaines (aéronautique, automobile, énergie, etc.) d'accélérer leur transition numérique vers l'industrie du futur. Elle développe aussi des outils d'analyses de données «omiques» pour le secteur médical.

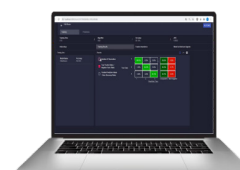
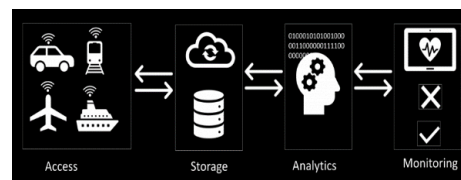
Ses deux solutions phares, ThingsWings et MinerWorx, sont spécialement conçues pour faciliter l'adoption des toutes dernières technologies de l'industrie 4.0.

ThingWings est une plate-forme IoT de bout en bout pour la surveillance des processus industriels en temps quasi-réel couvrant les principales étapes d'un «workflow» IIoT typique allant de l'accès aux données de capteurs à l'aide d'un collecteur de données «tout en un», passant par la mise en production de modèles IA jusqu'à la création de tableaux de bord personnalisés pour la surveillance et la supervision. «ThingWings est comparable à un créateur de sites web avec des thèmes prédéfinis, mais pour les applications IoT» explique Lyamine Hedjazi le fondateur de Beemetrix.

La deuxième solution, MinerWorx, résultat de plusieurs décennies de recherches au LAAS-CNRS, est une plate-forme IA qui rationalise le processus de création de modèles prédictifs basés sur les données historiques issues de capteurs et leur déploiement en production grâce à une intégration intuitive avec la plate-forme ThingWings.

Les solutions sont déployables en local («on-premise») et sur le cloud mais aussi disponible en mode «SaaS» avec «zéro» déploiement.

Contact : Marie-Véronique Le Lann, [marie-veronique.lelann@laas.fr](mailto:marie-veronique.lelann@laas.fr), équipe DISCO  
En savoir plus : <https://www.beemetrix.com/>



Informatique

Automatique

Robotique

Micro et nano systèmes

**Santé / Environnement**  
Juan CORTÉS, Morgan DELARUE, Vincent RAIMBAULT

**Industrie du Futur**  
Cyril BRIAND, Patrick DANÈS

**Energie**  
Corinne ALGINSO, Guilhem ALMUNEAU

**Transports / Mobilités**  
Éric ALATA, Patrick TOUNSI

**Espace**  
Pascal BERTHOUD, Olivier LLOPIS



**Réseaux, informatique, systèmes de confiance**

Philippe OWEZARSKI  
ISI - Claude BARON  
SARA - Khalil DRIRA  
TSF - Héléne 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 HÉMERICK  
MEMS - Christian BERGAUD  
MH2F - Katia GRENIER  
MICA - Philippe MENINI  
MILE - Pierre JOSEPH  
MPN - Sébastien PLISSARD



**Robotique**

Philippe SOUÈRES  
GEPETTO - Olivier STASSE  
RAP - Patrick DANÈS  
RIS - Simon LACROIX



**Décision et optimisation**

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



**Gestion de l'énergie**

Frédéric MORANCHO  
ESE - Patrick TOUNSI  
ISGE - Karine ISOIRD  
NEO - Alain ESTÈVE  
S4M - Christophe ESCRIBA



## 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

## Abréviations

AFM	Microscopie à force atomique
BIOSOFT	Laboratoire dédié au développement de nouvelles technologies applicables aux systèmes de biodétection médicale
C2N	Centre de nanosciences et de nanotechnologies
CEA-LETI	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives - Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information
CNES	Centre national d'études spatiales
COMET-ECM	Communauté d'experts - Électromagnétisme et circuits microondes
Club EEA	Regroupement d'enseignants, chercheurs et assimilés de l'enseignement supérieur ou de la recherche exerçant une activité dans l'une des trois grandes disciplines du génie électrique : électronique, électrotechnique et automatique
DGA	Direction générale de l'armement
EDF	Électricité de France
ENSCR	École nationale supérieure de chimie de Rennes
ENSEEIHT	École nationale supérieure d'électrotechnique, d'électronique, d'informatique, d'hydraulique et des télécommunications
EPFL	École polytechnique fédérale de Lausanne
ETH-Z	École polytechnique fédérale de Zurich
ETIS	Équipes traitement de l'information et systèmes
GDR	Groupement de recherche
GIPSA	Grenoble images parole signal automatique
GTS	Global TCAD Solutions
IA	Intelligence artificielle
IEMN	Institut d'électronique, de microélectronique et de nanotechnologie
IMS	Intégration du matériau au système
INL	Institut des nanotechnologies de Lyon
INSA	Institut national des sciences appliquées
INSERM	Institut national de la santé et de la recherche médicale
IPN-CIC	Institut national polytechnique - Centre de recherche informatique
IPVF	Institut photovoltaïque d'Île-de-France
IRT	Institut de recherche technologique
ISIR	Institut des systèmes intelligents et de robotique
KU Leuven	Université de Louvain
LIDAR	Laser detection and ranging (détection et estimation de la distance par laser)
LIMOS-CNRS	Laboratoire d'informatique, de modélisation et d'optimisation des systèmes
MEMS	Microsystème électromécanique
NaMLab	Nanoelectronic Materials Laboratory
MPQ	Matériaux et phénomènes quantiques
ONERA	Office national d'études et de recherches aérospatiales
RESTORE	Geroscience and rejuvenation research center
ROOT-CNRS	Recherche opérationnelle, ordonnancement, transport
ToNIC	Toulouse NeuroImaging Center



## Crédits photos

Couverture	Robot PR2 au LAAS-CNRS, © Cyril Frésillon / LAAS / CNRS Photothèque
P8	Fabrication de visières, © Julie Foncy, LAAS-CNRS
P9	Répartition de la charge d'approvisionnement de masques sur un réseau, © Alexandre Dupaquis, LAAS-CNRS Exemple de modélisation, optimisation de la gestion des flux de matériel médical, © Jean-Charles Billaut
P12	Jean Arlat, Conférence ERTS-2020, © LAAS-CNRS Visite de Nadia Pallefigue, © LAAS-CNRS
P13	FutuRobot, © CNRS Photothèque Toulouse-Place du Capitole, © Wikimedia Commons
P14	Toulouse-Place du Capitole, © Wikimedia Commons
P21	Oscillateur tout cryogénique, © Thalès
P23	Anode poreuse, © LAAS-CNRS Sonde optomécanique réalisée sur silicium, © CNRS
P24	«Les compétences d'abord», © Ministère du travail
P36	Plateforme PROOF, © LAAS-CNRS Plateforme de micro et nano technologies, © LAAS-CNRS

