

FOCUS 2022

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



SOMMAIRE

Avril 2023

Direction de la publication Mohamed Kaâniche

Direction de la rédaction Anne Hémercyck, Thierry Leïchlé

Rédaction en chef Anne Hémercyck, Marie-Laure Pierucci

Comité de rédaction Anne Hémercyck, Mohamed Kaâniche, Simon Lacroix, Thierry Leïchlé, Élodie Marques, Marie-Laure Pierucci, Sophie Tarbouriech, Gilles Trédan

Rédaction Nicolas Amat, Claude Baron, Olivier Bernal, Alexandre Boyer, Marie Brut, Juan Cortés, Étienne Dague, Silvano Dal Zilio, Morgan Delarue, Alain Estève, Gabrièle Fadini, Julien Ferry, Olivier Gauthier-Lafaye, Katia Grenier, Emmanuel Hébrard, Anne Hémercyck, Marie-José Huguet, Simon Lacroix, Bernard Legrand, Élodie Marques, Ali Maziz, Antoine Monmayrant, David Pech, Marie-Laure Pierucci, Isabelle Queinnec, Carole Rossi, Kévin Vermeulen, Bruno Watier, Luca Zaccarian

Conception graphique & mise en page Dominique Daurat

04

**Le LAAS-CNRS
en chiffres**

07

**Focus
scientifique**

21

Distinctions

31

**Projets
nationaux et
internationaux**

39

**Collaborations
industrielles**



45

**Événements
scientifiques**

49

**Diffusion de
la culture
scientifique**

55

**La vie du
laboratoire**





C'est avec un grand plaisir que je partage avec vous ce nouveau numéro du focus annuel du laboratoire qui met en avant des faits marquants de l'activité scientifique du laboratoire durant l'année écoulée.

L'année 2022 a été porteuse de nouvelles distinctions prestigieuses pour plusieurs membres du laboratoire (médaille d'argent du CNRS, bourses ERC Starting et ERC Proof-of-Concept, une étoile de l'Europe, un Trophée de la valorisation de la recherche 2022 de Toulouse Tech Transfer...). Ces distinctions récompensent la qualité et l'importance de nos contributions scientifiques dans des thématiques très diverses et illustrent parfaitement différentes facettes des activités du laboratoire : avancée des connaissances, formation, rayonnement international, valorisation de nos recherches et partenariat avec les acteurs industriels et socio-économiques. Elles sont aussi le fruit de travaux collaboratifs bénéficiant des plateformes du laboratoire et du support essentiel et précieux de nos ingénieurs, techniciens et personnels administratifs.

Sur le volet partenariat, cette année a été marquée aussi par le lancement d'une chaire industrielle, en formation et recherche, sur la gestion responsable et la réduction de l'empreinte carbone des e-commandes, soutenue par l'entreprise OneStock, Toulouse INP et le CNRS. La liste de nos laboratoires communs avec l'industrie s'est aussi enrichie par la signature d'un nouveau projet, DYNAMOGRADE, avec une jeune pousse toulousaine TOWARD, sur le thème de la robotique Humanoïde.

Au niveau national, l'année a été marquée par le lancement des Programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR) dans le cadre de la stratégie France 2030. Le LAAS-CNRS est impliqué à différents niveaux dans une douzaine de PEPR co-pilotés par le CNRS, dans des domaines très variés : électronique, cybersécurité, technologies quantiques, spintronique, robotique, 5G et réseaux du

futur, technologies avancées des systèmes énergétiques, eau, stockage sur ADN, etc. Le laboratoire est aussi très engagé dans des projets « Défis clés » financés par la Région Occitanie afin de renforcer la recherche régionale dans ses domaines stratégiques (robotique, cybersécurité, quantique, mobilité intelligente et durable, photovoltaïque, observation de la terre...)

A l'échelle du site toulousain, l'Institut interdisciplinaire d'intelligence artificielle de Toulouse, ANITI, dans lequel le LAAS-CNRS est très impliqué, a passé avec succès son évaluation par le jury international. Il est aujourd'hui reconnu comme une place forte de l'intelligence artificielle en France et au niveau international, notamment dans le domaine de l'IA de confiance. Ce projet a été aussi une opportunité pour renforcer les collaborations entre les laboratoires et les partenaires industriels du site et pour développer de nouveaux axes de recherche interdisciplinaires couvrant différentes thématiques (mathématiques, informatique, optimisation, neurosciences, robotique, langage, ...).

Cette dynamique sera aussi renforcée grâce au projet TIRIS, *Toulouse Initiative for Research's Impact on Society*, porté par l'Université de Toulouse. Il a pour ambition de valoriser pleinement l'écosystème de formation et de recherche du site toulousain en vue de contribuer à l'émergence d'une Grande Université de Recherche de renommée internationale, autour de trois piliers thématiques : santé/bien-être, changement et impact sociétaux, et transitions durables.

Le LAAS-CNRS s'associera pleinement à cette ambition collective.

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

Mohamed Kaâniche
Directeur du LAAS-CNRS

Le LAAS-CNRS en chiffres

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

2 instituts



6

Situé à Toulouse, il est associé à six membres fondateurs de l'Université de Toulouse.



4 domaines scientifiques

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

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

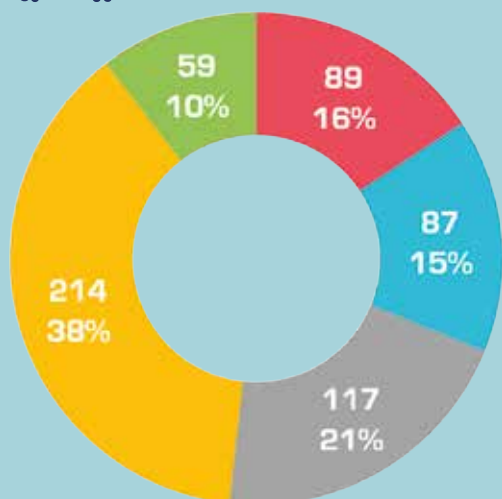
Ils visent des champs d'applications variés tels que : l'aéronautique, l'espace, l'énergie, les transports et les mobilités, les télécommunications, la santé, l'agro-alimentaire, l'environnement, la productique et l'industrie du futur, la défense...





Personnel

env 566, dont :



- ITA/BIATSS
- Chercheur-se-s CNRS
- CDD ITA/chercheur-se-s
- Enseignant-e-s chercheur-se-s
- Doctorant-e-s/post-doctorant-e-s



21000 m² de surface bâtie

Budget consolidé

69 M€



67 nationalités représentées



5



Production scientifique

360 revues & conférences internationales

10 ouvrages ; 41 thèses soutenues, 2 HDR

- 5 axes transverses applicatifs
- 6 départements scientifiques
- 26 équipes
- 10 services communs



5

plateformes technologiques



495 contrats en cours

23 projets européens, dont 4 ERC

4 projets Région sur fonds européens

3 projets H2020 en coordination

5 laboratoires communs avec l'industrie

Focus scientifique

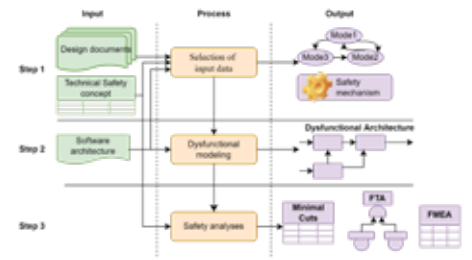
Améliorer les pratiques d'analyse de la sécurité des logiciels automobiles, une nécessité industrielle qui correspond à un besoin sociétal

Le développement de systèmes d'aide à la conduite et de conduite autonome pour les véhicules révolutionne le secteur des transports, en offrant confort et sécurité. Si des progrès technologiques significatifs ont déjà été réalisés dans ce domaine, le chemin à parcourir est parsemé de nombreux défis. Parmi ceux-ci, garantir la sécurité du conducteur est devenu encore plus critique en raison de l'utilisation croissante de logiciels embarqués complexes, communicants et reconfigurables. Les approches actuelles pour analyser la sécurité de ces logiciels, reposant sur l'étude de documents d'ingénierie par un expert, ont atteint leurs limites et il est temps de les repenser. À cette fin, nous proposons de nous appuyer sur l'ingénierie dirigée par les modèles pour mener ces analyses. Cet article fait une proposition méthodologique et une proposition d'outillage qui améliorent les pratiques actuelles en termes de temps, de qualité d'analyse et de réutilisabilité. Elle a été validée sur l'étude de plusieurs composants logiciels automobile.

Contact : Claude Baron, claudе.baron@laas.fr, équipe ISI
 En savoir plus : [Model-driven engineering to ensure automotive embedded software safety. Methodological proposal and case study](#), Y. Sirgabsou, C. Baron, L. Pahun, P. Esteban, Computers in Industry, 138, 103636 (2022).

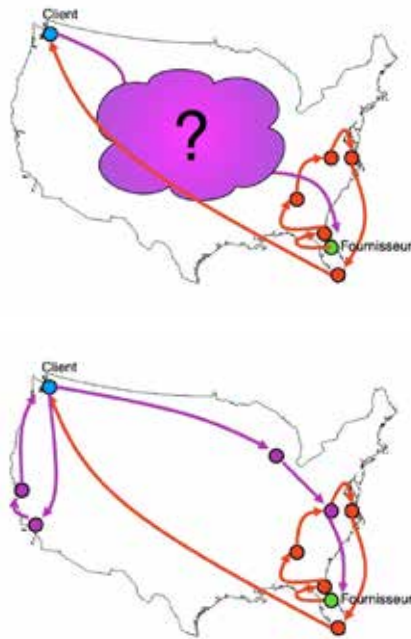


Évaluation de la sécurité du logiciel



Les trois étapes principales de notre méthode

Optimiser le trafic Internet : un premier outil d'exploration des chemins retours à l'échelle du net



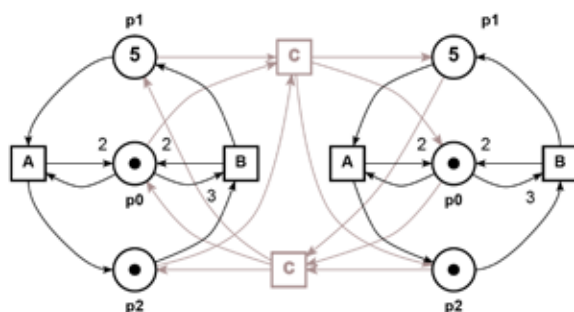
Un problème peut se détecter s'il a lieu sur le chemin aller [rouge] grâce à un Traceroute, mais ne sera pas détectable s'il a lieu sur le chemin retour (violet). *Reverse Traceroute 2.0* permet de révéler ce chemin retour.

La connaissance des chemins aller-retours entre un serveur et un client est primordiale pour comprendre d'éventuels problèmes. Jusqu'à présent, des outils comme Traceroute, répondent partiellement à cette problématique, car ils permettent uniquement de mesurer les chemins aller, par exemple depuis le serveur vers le client. Comme seulement 53 % des chemins d'Internet sont symétriques au niveau AS (les organisations qui s'interconnectent pour transporter le trafic) il est essentiel de pouvoir aussi mesurer le chemin retour. Avec *Reverse Traceroute 2.0*, nous avons une solution précise, et qui fonctionne à l'échelle d'Internet. *Reverse Traceroute 2.0* permet de voir 55 % des chemins retours avec haute précision, contre 6 % auparavant et 43 fois plus rapidement que le système original *Reverse Traceroute*. Le système est déployé sur l'infrastructure M-Lab, un consortium international d'acteurs publics et privés qui a pour objectif d'améliorer les performances d'Internet. *Reverse Traceroute 2.0* permet également à des utilisateurs extérieurs d'incorporer leurs propres sources dans le système, permettant aux opérateurs et aux chercheurs de déboguer les chemins depuis Internet vers leurs propres sources. Nous montrons d'ailleurs dans notre article comment faire de l'ingénierie de trafic à partir des mesures des chemins retours effectuées par *Reverse Traceroute 2.0*, notamment pour améliorer les performances d'une infrastructure *anycast*, une technique populaire utilisée par les fournisseurs de contenus pour optimiser la latence entre leurs serveurs et les utilisateurs.

Contact : Kévin Vermeulen, kevin.vermeulen@laas.fr, équipe SARA
 En savoir plus : [Internet Scale Reverse Traceroute](#), K. Vermeulen, E. Gürmerçililer, Í. Cunha, D. R. Choffnes, E. Katz-Bassett, ACM SIGCOMM *Internet Measurement Conference* (2022).

Vérification formelle des réseaux de Petri

Les réseaux de Petri permettent de modéliser et d'analyser des systèmes complexes, tels que des programmes informatiques ou des processus industriels. C'est un formalisme largement utilisé en ingénierie, à la fois pour la rigueur de ses définitions, que pour son caractère graphique, qui permet de visualiser comment les différents composants d'un système interagissent entre eux. Une fois un système modélisé, il est possible de prédire son comportement dans différentes conditions, par exemple pour montrer s'il est possible d'atteindre, ou pas, un état dangereux. C'est ce qu'on appelle le problème de l'accessibilité, une question majeure dans la théorie des réseaux de Petri. Nous avons proposé une nouvelle méthode pour aborder ce problème, qui consiste à orienter la preuve d'atteignabilité en fonction de la propriété visée. D'où son nom de *Property Directed Reachability method*. Ce nouvel algorithme permet de traiter certains problèmes qui étaient jusqu'ici hors de portée. Autre bonus, notre solution permet de raisonner sur des systèmes avec un nombre infini d'états. Elle permet aussi de générer un certificat, une preuve de résultat qui peut être vérifiée de manière indépendante, sans avoir à faire confiance au logiciel qui implante notre algorithme.



Contacts : Silvano Dal Zilio, silvano.dalzilio@laas.fr; Nicolas Amat, nicolas.amat@laas.fr; équipe VERTICS

En savoir plus : [Property Directed Reachability for Generalized Petri Nets](#), N. Amat, S. Dal Zilio, T. Hujsa. In Proc. of TACAS, Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems (2022).



Peut-on prévoir la trajectoire de deux sujets lors d'une tâche collaborative ?

Lorsque nous nous déplaçons, la trajectoire que nous suivons spontanément peut être prédite avec une bonne précision, y compris lorsque l'environnement contient des obstacles et des contournements nécessaires.

Dans ce travail, nous avons voulu vérifier si cette observation était toujours valable lors d'un déplacement de deux sujets en interaction. Plusieurs binômes ont ainsi été invités à transporter une table entre une position de départ et différents points d'arrivée. Plusieurs modalités ont alors été analysées selon si l'un, l'autre ou les deux sujets connaissaient la position d'arrivée. Les résultats ont montré alors que la trajectoire de sujets en collaboration était excessivement aléatoire. Des stratégies totalement différentes ont pu être observées entre les binômes différents, mais aussi au sein d'un même binôme en fonction de la modalité. Dans ce contexte, on voit qu'il n'apparaît pas une trajectoire optimale qui aurait la préférence de tous. La possibilité de prédire les trajectoires choisies par ces binômes s'en trouve ainsi largement diminuée. Ces résultats ont une grande importance lorsque l'on souhaite faire collaborer un sujet humain avec un système robotique comme par exemple un robot humanoïde. Effectivement, dans ce contexte, il est absolument primordial de pouvoir anticiper la trajectoire des sujets et d'avoir une commande proactive.

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

En savoir plus : [Walking paths during collaborative carriages do not follow the simple rules observed in the locomotion of single walking subjects](#), I. Maroger, M. Silva, H. Pillet, N. Turpin, O. Stasse, B. Watier, Sci Rep 12, 15585 (2022).



Dispositif expérimental permettant l'analyse et le suivi des trajectoires temps réel lors d'une tâche collaborative

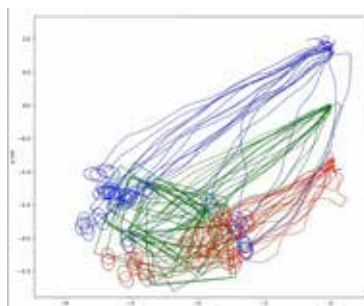
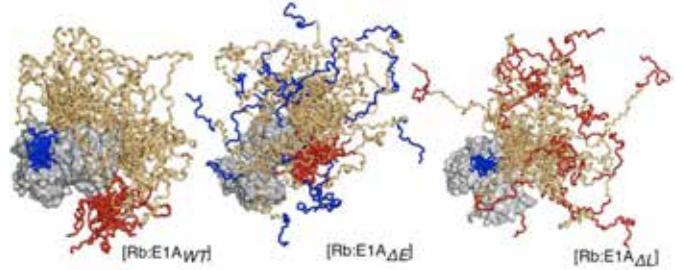


Illustration de la variabilité des trajectoires lors d'une tâche collaborative

Une approche pluridisciplinaire pour mieux comprendre les contraintes évolutives sur les protéines désordonnées

Les protéines intrinsèquement désordonnées, qui représentent environ 40 % du protéome, ont des rôles fonctionnels essentiels, malgré l'absence d'une structure bien définie. De nombreuses protéines désordonnées conservent leur fonction en dépit d'une grande variation dans leur séquence d'acides aminés, ce qui rend difficile l'identification des mécanismes responsables de la sélection fonctionnelle lors de leurs évolutions. Une équipe pluridisciplinaire, impliquant des chercheurs du LAAS-CNRS, a mis en évidence un nouveau concept appelé « *conformational buffering* ». Il s'agit d'un mécanisme compensatoire par lequel les régions désordonnées limitent la gamme de conformations qu'elles peuvent adopter à celles nécessaires pour leurs besoins fonctionnels, et qui peuvent être encodées par une vaste diversité de séquences. Pour étudier ce concept, les chercheurs ont choisi comme système modèle une protéine d'adénovirus et ont utilisé une combinaison de techniques expérimentales et computationnelles. Le « *conformational buffering* » pourrait être un mécanisme répandu lié à l'évolution des protéines désordonnées. La compréhension de ce mécanisme peut avoir des implications importantes pour le développement de nouvelles thérapies pour certaines maladies infectieuses ainsi que des pathologies associées au mauvais repliement et à l'agrégation des protéines.



Ensembles conformationnels générés par les algorithmes développés au LAAS-CNRS correspondant à trois modes de liaison entre la protéine virale (intrinsèquement désordonnée) et la protéine cible dans les cellules humaines.

Contact : Juan Cortés, juan.cortes@laas.fr, équipe RIS
 En savoir plus : [Conformational buffering underlies functional selection in intrinsically disordered protein regions](#), N. González-Foutel, J. Glavina, W. Borchers, M. Safranchik, S. Barrera-Vilarnau et al., Nature Structural and Molecular Biology, 29 (8), 781-790 (2022).

Conception collaborative de robots quadrupèdes

La conception des robots a longtemps été guidée par la seule expertise des ingénieurs. De plus en plus, la puissance des calculateurs nous incite à développer des approches plus systématiques de « conception collaborative » ou « *codesign* » pour optimiser les capacités de mouvement de ces systèmes dès la phase

de conception. Cependant, dans certains cas, les trajectoires optimales sélectionnées peuvent s'avérer difficiles à exécuter en pratique. En conséquence, si l'optimalité des mouvements reste cruciale, la capacité de les exécuter de façon robuste est également essentielle. Pour satisfaire au mieux ces deux objectifs nous avons proposé un algorithme à deux niveaux qui optimise simultanément les caractéristiques matérielles du robot et les paramètres de commande. La boucle externe utilise un algorithme génétique pour optimiser les variables de *codesign* au regard des performances du système pour suivre des trajectoires optimales perturbées. Le contrôleur de suivi exploite les gains de rétroaction localement optimaux calculés dans la boucle intérieure avec un algorithme de programmation dynamique différentielle. Un modèle d'actionnement complet incluant la compensation du frottement et les limites de la bande passante est considéré. Les solutions ne pouvant pas

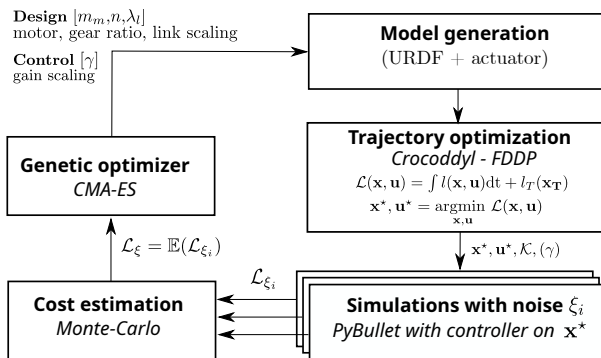
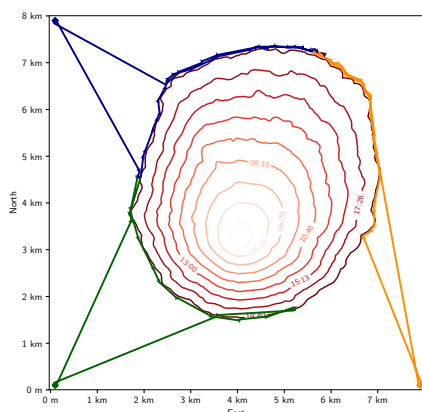


Schéma de *codesign* robuste à deux niveaux

répondre de manière robuste aux exigences de la tâche sont ainsi écartées.

Contact : Gabriele Fadini, gabriele.fadini@laas.fr, équipe GEPETTO
 En savoir plus : [Simulation aided co-design for robust robot optimization](#), G. Fadini, T. Flayols, A. Del Prete and P. Souères, IEEE Robotics and Automation Letters, 7, 4, 11306-11313 (2022).

Des flottes de drones pour suivre les feux de forêt



Trajectoires d'observations d'un feu par trois drones

Près de vingt années après les recherches qui ont permis leur avènement, les mini-drones de type « multi-rotors » commencent désormais à être utilisés par les pompiers. Contrôlés à distance par des pilotes dédiés, leurs caméras embarquées permettent de collecter des informations sur la virulence du feu ou les possibilités d'accès. Mais pour observer et suivre l'évolution des feux de forêts, il est nécessaire de déployer une flotte de drones de type avions, capables d'observer plusieurs centaines de km^2 en moins d'une heure. Contrôler une telle flotte de drones qui volent à près de 50 km/h , assurer leur coordination et optimiser l'acquisition des données est au-delà des capacités d'un opérateur : il est nécessaire de doter la flotte de capacités de décision et de réaction autonomes. C'est l'objet des travaux présentés dans cet article, qui proposent une approche système complète pour le suivi de feux de forêts. Un modèle simplifié de propagation de feu qui intègre des données topographiques et météorologiques permet de prédire l'évolution du feu et est exploité pour planifier des trajectoires d'observations pour la flotte. En retour, les observations sont intégrées en temps réel pour affiner la connaissance sur le feu et mettre à jour son modèle et elles sont bien sûr transmises aux opérateurs qui peuvent les exploiter.

Contact : Simon Lacroix, simon.lacroix@laas.fr, équipe RIS
En savoir plus : [Real-time wildfire monitoring with a fleet of UAVs](#), R. Bailon-Ruiz, A. Bit-Monnot, S. Lacroix, Robotics and Autonomous Systems, 152 (2022).

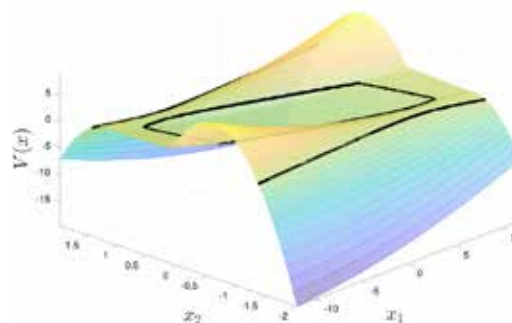


Nouvelles fonctions de signe non défini pour évaluer la stabilité de systèmes saturés

Le domaine de recherche concerne l'automatique et le contrôle d'une classe de systèmes dynamiques non-linéaires : les systèmes soumis à des actionneurs limités en amplitude, ou plus précisément saturés, ce qui peut conduire à des dégradations majeures du fonctionnement du système contrôlé (jusqu'à la perte de stabilité). On retrouve cette problématique dans de nombreux problèmes de contrôle tel que, par exemple, l'atterrissage ou le décollage robuste pour les avions civils, le contrôle de la profondeur d'anesthésie durant une opération.

Un des problèmes fondamentaux est alors de caractériser le domaine d'attraction de l'origine, qui est la plus grande région de l'espace d'état depuis laquelle toutes les évolutions possibles convergent au point d'équilibre.

De nombreux travaux ont abordé le problème de certifier la stabilité et d'estimer cette région d'attraction par le biais de fonctions de Lyapunov quadratiques de signe défini (classiques). L'originalité de notre travail est, à l'inverse, d'introduire une nouvelle classe de fonctions de Lyapunov. Cette classe décrit les fonctions quadratiques étendues de signe indéfini, qui deviennent négatives hors de l'estimation du domaine d'attraction. L'utilisation de cette classe peut beaucoup améliorer la l'estimation de la région d'attraction.



Contact : Isabelle Queinnec, isabelle.queinnec@laas.fr, équipe MAC
En savoir plus : [Design of Saturating State-Feedback with Sign-Indefinite Quadratic Forms](#), I. Queinnec, S. Tarbouriech, G. Valmorbida, L. Zaccarian, IEEE Transactions on Automatic Control, 67, 7 (2022).

Un algorithme efficace pour le calcul d'arbres de décision optimaux

L'apprentissage d'arbres de décision est une approche encore largement utilisée pour des tâches de classification qui requièrent des modèles concis et interprétables. Dans le domaine médical, par exemple, il est nécessaire de justifier un diagnostic. Un arbre de profondeur réduite admet des explications concises, ce qui n'est pas toujours le cas pour des modèles plus complexes.

Les méthodes classiques reposent sur des heuristiques telles que le gain d'information (réduction de l'entropie du système) ou le coefficient de Gini (mesure de l'inégalité). Ces méthodes ne garantissent pas que l'arbre de décision obtenu soit optimal.

Nous proposons *MurTree*, un algorithme pour calculer des arbres de décisions optimaux au sens de l'erreur de classification, combinée à un critère de parcimonie. Les arbres optimaux permettent de meilleures prédictions pour des exemples hors ensemble d'apprentissage. En s'appuyant sur des caractéristiques structurelles des arbres de décision, *MurTree* permet de réduire le temps de calcul d'une preuve d'optimalité par plusieurs ordres de grandeur par rapport à l'état de l'art. *MurTree* est en outre un algorithme « *anytime* » (c'est-à-dire qu'il fournit un arbre valide même s'il est interrompu avant d'avoir trouvé l'arbre optimal) ce qui en fait une alternative avantageuse aux heuristiques pour des jeux de données de grande taille.



Un arbre de décision binaire optimal de profondeur 3 pour la prédiction de retards des vols intérieurs aux États-Unis. Jeux de données «Airlines delays» (restreint aux vols du vendredi, 85247 exemples, 620 attributs binaires), source : Kaggle (Ulrik Thyge Pedersen).

Contact : Emmanuel Hébrard, emmanuel.hebrard@laas.fr, équipe ROC
 En savoir plus : [MurTree: Optimal Decision Trees via Dynamic Programming and Search](#), E. Demirović, A. Lukina, E. Hébrard, J. Chan, J. Bailey, C. Leckie, K. Ramamohanarao and P. J. Stuckey. Journal of Machine Learning Research; 23(26):1–47 (2022).

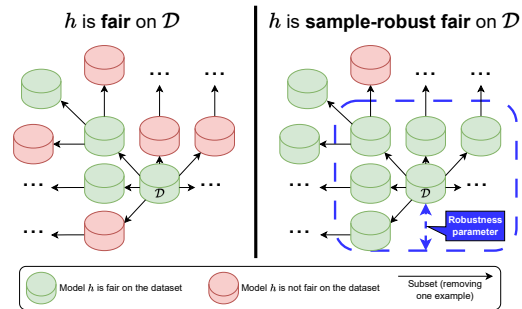
Améliorer la généralisation de l'équité en apprentissage grâce à l'optimisation robuste

L'utilisation croissante de méthodes d'apprentissage pour des problématiques de prise de décision à forts enjeux (admissions à l'université, justice prédictive, décision pour un crédit bancaire...) soulève différents questionnements éthiques. Il apparaît notamment que les modèles d'apprentissage peuvent reproduire, voire créer, des biais (ou discriminations), et potentiellement désavantager certains sous-groupes de la population.

Pour faire face à ce phénomène, plusieurs approches ont été proposées afin d'apprendre des modèles respectant des contraintes d'équité. Cependant, il a été observé que de tels modèles, s'ils peuvent être qualifiés d'« équitables » sur leur ensemble d'entraînement, ne le sont pas forcément une fois déployés et appliqués sur de nouvelles données : la généralisation de l'équité est un vrai défi.

Nous proposons une approche inspirée de l'optimisation distributionnellement robuste, permettant de quantifier la robustesse à l'échantillonnage de l'équité d'un modèle. Cette approche peut être utilisée pour auditer un modèle existant, mais également pour apprendre des modèles dont l'équité est intrinsèquement plus robuste. Nous introduisons à la fois une approche exacte et une méthode approchée, qui peut être facilement intégrée à des algorithmes d'apprentissage de la littérature.

Nos expériences montrent que les modèles appris généralisent alors mieux en termes d'équité : ils sont plus souvent « équitables » quand appliqués sur des données jamais vues pendant l'entraînement.



Principe de l'approche de robustesse de l'équité considérée

Contacts : Julien Ferry, julien.ferry@laas.fr; Marie-José Huguet, marie-jose.huguet@laas.fr, équipe ROC
 En savoir plus : [Improving Fairness Generalization Through a Sample-Robust Optimization Method](#), J. Ferry, U. Aïvodji, S. Gambis, M.-J. Huguet, M. Siala, Machine Learning, S.I. on Safe and Fair Machine Learning (2022).

La réponse à une conjecture sur les boucles algébriques non-linéaires après 20 ans

Les boucles algébriques non-linéaires apparaissent souvent dans les descriptions mathématiques des systèmes d'ingénierie et leur solution est souvent difficile à calculer.

Le cas particulier des boucles algébriques avec des saturations ou des *deadzones* (dont le graphe est représenté dans la figure 1) est particulièrement important.

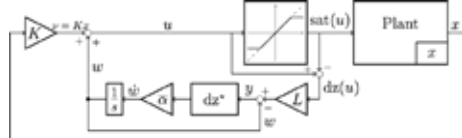


Figure 1

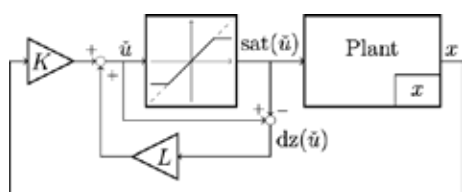


Figure 2

Au début des années 2000, des publications scientifiques ont étudié leur potentiel pour résoudre des problèmes de directionnalité avec des actionneurs limités en ampleur (l'effet de saturation) et leur capacité à fournir des solutions explicites à la stratégie optimale « *model predictive control* » pour les procédés linéaires avec contraintes. Depuis ces travaux, nous avons trouvé, en 2006, des conditions nécessaires et suffisantes pour l'existence d'une solution, mais aucun algorithme efficace n'était disponible pour calculer cette solution.

Dans notre article, avec la théorie des jeux et de l'optimisation convexe, nous avons proposé la fonction dz^* , qui est utilisée dans le schéma dynamique de la figure 2 pour générer une évolution qui converge à la solution. Une conséquence utile permet de prouver la conjecture, datant de 2003, affirmant que dans un certain cadre simplifié, le schéma de la figure 2 fonctionne également avec dz^* remplacé par l'identité.

Nous étions heureux de prouver enfin cette conjecture après 20 ans !

Contact : Luca Zaccarian, luca.zaccarian@laas.fr, équipe MAC

En savoir plus : [Solving nonlinear algebraic loops arising in input-saturated feedbacks](#), F. Blanchini, G. Giordano, F. Riz and L. Zaccarian, to appear in IEEE Transactions on Automatic Control (2022).



Vers un meilleur diagnostic des problèmes de compatibilité électromagnétique des composants et cartes électroniques

Le scanner champ proche est un formidable outil d'investigation des problèmes de compatibilité électromagnétique (CEM) des circuits et cartes électroniques. Il permet, entre autres, d'évaluer les performances du filtre CEM monté sur un convertisseur de puissance, prédire l'émission rayonnée d'une carte électronique ou détecter les vulnérabilités aux perturbations électromagnétiques. Cependant, sa diffusion dans les bureaux d'étude en électronique se heurte à plusieurs verrous, notamment la difficulté d'analyse des résultats pour les rapprocher des exigences CEM définies par les cahiers des charges des équipements électroniques ainsi que le temps de mesure.

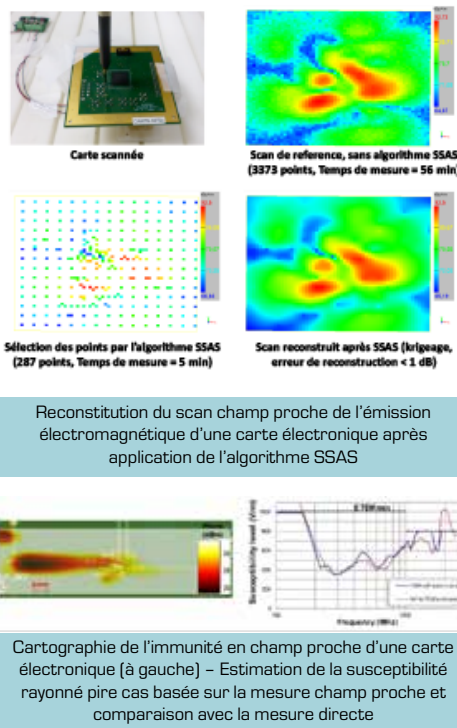
Les recherches effectuées au LAAS-CNRS visent à lever ces verrous. Avec l'IRT Saint-Exupéry, nous avons développé un algorithme de sélection des points de scan appelé *Sequential Spatial Adaptive Sampling*, qui ne conserve que les points d'intérêt, réduisant d'un facteur 5 à 10 le temps de scan. Le scanner champ proche en immunité reste une technique balbutiante car elle se limite souvent à la localisation des zones sensibles d'une carte électronique aux rayonnements électromagnétiques, sans corrélation avec la susceptibilité à une perturbation électromagnétique globale. Une méthode de traitement des résultats de scan champ proche en immunité développée pour estimer le niveau de susceptibilité rayonnée globale d'une carte électronique ouvre des perspectives intéressantes pour mieux anticiper la robustesse des équipements électroniques aux rayonnements électromagnétiques dès les phases de prototypage des cartes électroniques.

Contact : Alexandre Boyer, alexandre.boyer@laas.fr, équipe ESE

En savoir plus : [Efficiency of Sequential Spatial Adaptive Sampling Algorithm to Accelerate Multifrequency Near-Field Scanning Measurement](#),

S. Serpaud, A. Boyer, S. Ben Dhia, F. Cocchetti, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 64, 3, 816-826 (2022).

[On the Correlation between Near-Field Scan Immunity and Radiated Immunity at Printed Circuit Board Level - Part I & II](#), A. Boyer, N. Nohier, F. Caignet, S. Ben Dhia, IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, 64, 4, 1230-1242 (2022).



Structuration par bullage d'hydrogène pour le stockage de l'énergie

En exploitant le dégagement d'hydrogène ayant lieu aux surtensions cathodiques, il est possible d'élaborer des films métalliques robustes extrêmement poreux. Ce procédé, connu sous le nom de structuration dynamique par bullage d'hydrogène (DHBT pour *dynamic hydrogen bubble template*), repose sur la création de bulles d'hydrogène par l'application d'une surtension cathodique suffisante (réduction des protons H^+ en dihydrogène H_2), structurant la croissance du dépôt électrolytique du matériau métallique souhaité.

En utilisant cette voie, des électrodes 3D de micro-supercondensateurs à base de Ru avec des facteurs de forme atteignant $13000 \text{ cm}^2/\text{cm}^2$ ont pu être obtenues par l'équipe NEO - Nano-ingénierie et intégration des oxydes métalliques et de leurs interfaces du LAAS-CNRS. Ces électrodes présentent une capacité surfacique record de $24 \text{ F}/\text{cm}^2$ pour une énergie de $8,7 \text{ J}/\text{cm}^2$ et une puissance de $354 \text{ mW}/\text{cm}^2$, tout en démontrant une excellente stabilité en cyclage. Ces performances surpassent de loin les précédentes études en matière de capacités surfaciques, rendant ces matériaux de micro-supercondensateurs prometteurs pour les applications IoT (internet des objets) nécessitant des densités d'énergie élevées pour des surfaces d'empreinte limitées.

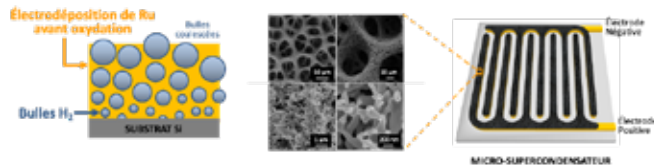
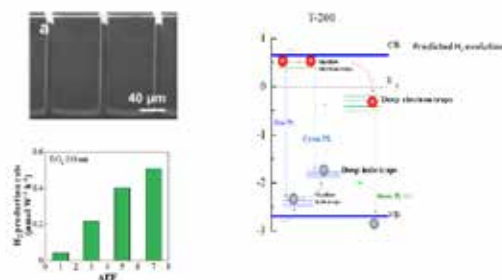


Illustration d'une structuration par bullage d'hydrogène pour la réalisation d'électrodes de micro-supercondensateurs RuO_2

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

En savoir plus : [Highly porous scaffolds for Ru-based microsupercapacitors electrodes using hydrogen bubble templated electrodeposition](#), L.B. Karroubi, S.G. Patnaik, B.D. Assresahegn, B. Bounor, C.C.H. Tran, S.H. Choudhury, D. Bourrier, D. Guay, D. Pech, Energy Storage Materials 47, 134-140 (2022).

Vers la conception de panneau à hydrogène par photocatalyse solaire



Haut gauche. Image SEM d'une cross section de la surface microstructure composée de microcuvettes; bas gauche production d'hydrogène fonction de la quantité de surface présente; cartographie des défauts présents dans le gap du photocatalyseur

La production d'hydrogène vert, c'est-à-dire décarbonée, a atteint une maturité industrielle grâce au procédé d'électrolyse, qui réalise la dissociation de molécules d'eau à l'aide d'un courant électrique d'origine renouvelable. Encore au stade de recherche, la photocatalyse solaire veut s'affranchir de l'apport d'un courant électrique.

Le LAAS-CNRS développe du savoir fondamental ainsi qu'une filière technologique pour concevoir un photocatalyseur planaire à base d'oxyde de titane, compatible à une vision de panneau à hydrogène. Les travaux réalisés concernent une technologie modèle pour constituer des surfaces photocatalytiques augmentées (via une microstructure tridimensionnelle réalisée par gravure ionique) dont le facteur multiplicatif de la surface est contrôlé. Une surface augmentée par un facteur 7 a permis d'obtenir des performances en production d'hydrogène $\times 40$, par rapport à un substrat plan. La caractérisation structurale, chimique, optique de ces matériaux, faisant notamment usage de la

photoluminescence, a été couplée à du calcul quantique pour établir une relation entre production d'hydrogène et présence de défauts dans la couche photocatalytique. Les travaux indiquent que la présence de fonctions OH et d'interstitiels de titane sont essentiels pour l'amélioration des performances, en modifiant les propriétés intrinsèques électroniques de l'oxyde de titane.

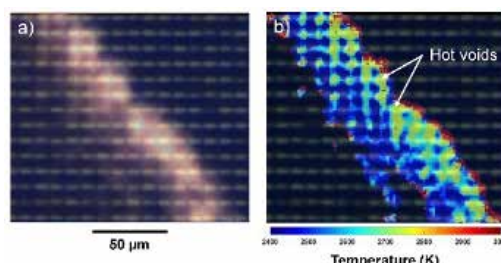
Contacts : Carole Rossi, carole.rossi@laas.fr, Alain Estève, alain.esteve@laas.fr, équipe NEO

En savoir plus : [High surface area \$TiO_2\$ photocatalyst for \$H_2\$ production through silicon micromachining](#), M.I. Mendoza-Diaz, A. Lecestre, L. Salvagnac, B. Bounor, D. Pech, M. Djafari-Rouhani, A. Estève, C. Rossi, Applied Surface Science 588, 152919 (2022) - [Dominant role of OH, and \$Ti^{3+}\$ defects on the electronic structure of \$TiO_2\$ thin films for water splitting](#), M.I. Mendoza Diaz, A. Balocchi, K. Oyekan, K. Tan, W.G. Vandenberghe, A. Estève and C. Rossi, Dalton Transactions 51 (40), 15300-15311 (2022).

Impact de la qualité des interfaces entre les réactifs sur la combustion de poudres d'aluminium en contact avec de l'oxyde de cuivre (Thermite Al/CuO)

La combustion de poudres fines métalliques comme l'aluminium (Al) en contact avec un oxydant (CuO, Fe₂O₃, MoO₃...) offre des perspectives intéressantes pour la production de sources de chaleur hautes températures, sans émission de carbone. Malgré des intérêts applicatifs nombreux, des questions restent non élucidées sur les mécanismes d'initiation et de combustion.

Des simulations de dynamique moléculaire ont permis de comprendre l'impact de la présence de pores entre le métal et l'oxydant possiblement créés lors de l'élaboration du matériau, réduit la température d'initiation de la combustion de 200 °C, par rapport à des matériaux présentant des interfaces entre réactifs parfaitement continues. Ce travail théorique démontre qu'en présence de pores, la diffusion de l'oxygène déclenchant l'initiation, s'opère en phase gazeuse au niveau du pore, processus plus rapide que si elle s'opère en phase condensée au travers d'une couche interfaciale Al_xO_yCu_z qui croît à basse température. La dépression engendrée dans le pore provoque alors la réduction du CuO à des températures aussi basses que 300 °C. Cette étude est associée à de l'imagerie infrarouge rapide qui confirme la présence de points chauds dans des nanothermites Al/CuO denses dans lesquelles sont insérés des micro-pores. Ces points chauds témoignent de réactions précoces, initiées à plus basse température, en présence de pores.



Imagerie du front de flamme se propageant pour les nanolaminés Al/CuO comportant 20 % de pores de $10 \times 10 \mu\text{m}^2$.

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

En savoir plus : [Atomic scale insights into the first reaction stages prior to Al/CuO nanothermite ignition: influence of porosity](#), H. Jabraoui, A. Estève, M. Schoenitz, E.L. Dreizin, C. Rossi, ACS Applied Materials & Interfaces, 14 (25), 29451-29461 (2022) - [Engineered porosity-induced burn rate enhancement in dense Al/CuO nanothermites](#), T. Wu, B. Julien, H. Wang (UCR, USA), S. Pelloquin, A. Estève, M.R. Zachariah (UCR, USA), C. Rossi, ACS Applied Energy Materials, 5 (3), 3189-3198 (2022).

H-O-P-E-S

Réseau diffractant à longue période sur puce photonique intégrée en nitrure de silicium pour détection chimique ultra-sensible

La capacité de détecter des molécules dangereuses pour l'environnement et la santé humaine est une nécessité et ce dès de très faibles concentrations. C'est dans ce cadre que s'inscrit le projet REFRACTO-SENS dont le but est de détecter la présence d'une ou de plusieurs molécules cibles à travers le changement d'indice de réfraction du milieu. Il s'appuie sur la photonique intégrée qui permet de miniaturiser les circuits optiques, de les rendre moins sensibles aux perturbations mécaniques et thermiques, mais aussi de pouvoir réaliser de nouvelles fonctions optiques nécessitant de structurer les matériaux à l'échelle de la longueur d'onde de la lumière. Dans ce projet, une nouvelle micro-structure photonique basée sur des réseaux diffractants à longue période a été conçue et réalisée pour permettre de détecter des perturbations chimiques à sa surface avec une grande sensibilité. Ce filtre optique dynamique a été optimisé pour présenter d'importants changements de propriétés suite à des perturbations de son environnement. Une fois sensibilisé à une molécule cible, il peut ainsi permettre de mesurer la concentration de cette espèce chimique via la mesure du changement de la fréquence de résonance du réseau induit par le changement d'indice de réfraction associé.

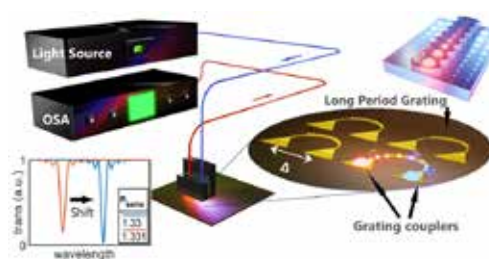


Illustration de la mesure de changement de la fréquence de résonance du filtre optique basé sur les réseaux de Bragg à longue période à l'aide d'une source laser et d'un analyseur optique de spectre.

Contact : Olivier Bernal, olivier.bernal@laas.fr, équipe OASIS

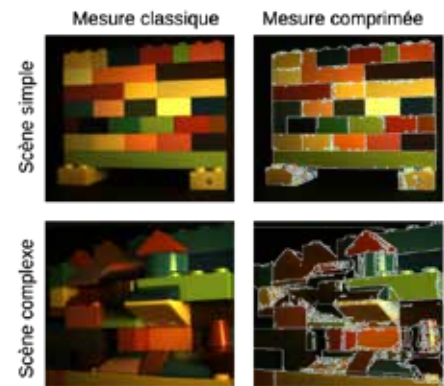
En savoir plus : [High-sensitivity integrated SiN rib-waveguide long period grating refractometer](#), C. Deleau, H.C. Seat, O. Bernal, F. Surre, Photonics Research, 10(2), 564-573 (2022).

Séparabilité spatio-spectrale pour la reconstruction rapide de cubes hyperspectraux à partir d'images comprimées

L'imagerie hyperspectrale consiste à mesurer le spectre en tout point d'une scène. L'information très riche obtenue est très souvent redondante. La tendance actuelle est de mesurer des mélanges spatio-spectraux et d'utiliser ces redondances pour reconstruire toute l'information à partir d'un nombre très restreint de mesures comprimées. Ces approches d'acquisition comprimée reposent sur des mélanges forts qui détruisent la cohérence spatiale des données acquises et nécessitent des post-traitements lourds.

Dans le cadre du projet ANR Astrid ImHypAd, nous avons proposé une alternative reposant sur des mélanges et des combinaisons uniquement spectrales qui conservent la cohérence spatiale de la scène observée.

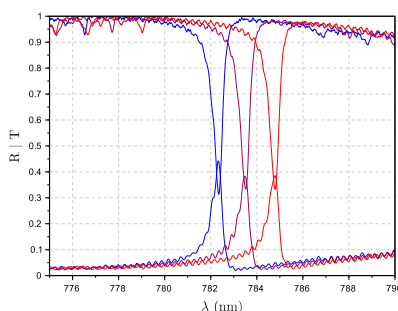
Cette approche permet une reconstruction très rapide de l'image hyperspectrale à partir d'algorithmes simples. Par rapport à une approche classique de mesure exhaustive de l'image hyperspectrale, notre approche permet une forte réduction de la durée d'acquisition (1/18) ainsi qu'une forte compression des données hyperspectrales (de 1/6 à 1/88 selon la complexité de la scène observée).



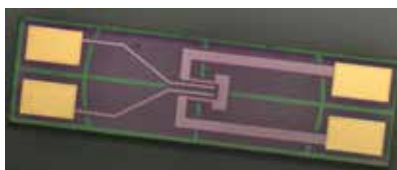
Démonstration expérimentale d'une méthode d'imagerie hyperspectrale comprimée

Contacts : Antoine Monmayrant, antoine.monmayrant@laas.fr; équipe PHOTO, Simon Lacroix, simon.lacroix@laas.fr; équipe RIS
En savoir plus : [Fast reconstruction of hyperspectral images from coded acquisitions using a separability assumption](#), E. Hemsley, I. Ardi, T. Rouvier, S. Lacroix, H. Carfantan, A. Monmayrant, Optics Express 30, 8174-8185 (2022).

Des filtres optiques ultrafins à grande ouverture angulaire et accordables électriquement



Spectres en réflexion et transmission d'un CRIGF pour trois courants injectés dans les résistances chauffantes



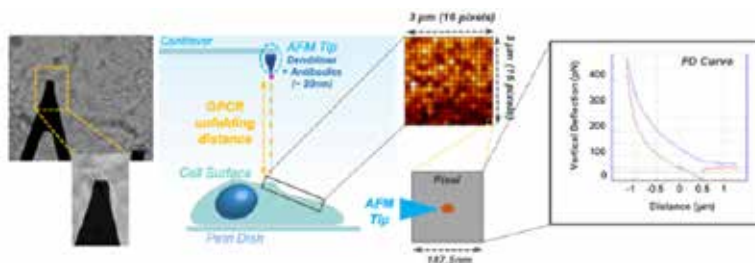
CRIGF unitaire réalisé sur film mince de niobate de lithium avec des électrodes et pads de contact pour les résistances chauffantes et capacitives dans la suite de ces travaux

Les CRIGFs (*Cavity Resonator Grating Filters*) sont des filtres optiques utilisant des structurations sub-longueur d'onde dont le fonctionnement repose sur l'excitation d'une onde guidée localisée par un réseau d'indice optique. Contrairement aux GMRF (*Guided Mode Resonant Filters*) ils fonctionnent sous illumination par un faisceau focalisé, même pour les filtres de grande finesse spectrale. Cette propriété est obtenue aux dépens de l'accordabilité angulaire usuellement observée pour les filtres GMRF. Dans nos travaux récents, nous rétablissons cette propriété d'accordabilité pour les filtres CRIGFs en les réalisant sur des couches minces de niobate de lithium (LiNbO_3), qui est un matériau thermo-optique et électro-optique. L'intégration d'électrodes chauffantes ou capacitives le long du filtre permet alors de démontrer une accordabilité de 2,5 nm pour des filtres à 780 nm en utilisant les électrodes chauffantes et une accordabilité fine de 0,7 nm utilisant des électrodes capacitives pour exploiter les propriétés électro-optiques du niobate de lithium. Ces travaux démontrent pour la première fois les possibilités de réaliser des filtres optiques CRIGFs accordables via une méthode électrique intégrée, avec deux pages d'accord et de finesse de réglage, dépendant de l'effet physique utilisé.

Contact : Olivier Gauthier-Lafaye, olivier.gauthier-lafaye@laas.fr; équipe PHOTO
En savoir plus : [Cavity resonator-integrated guided-mode resonance filters with on-chip electro- and thermo-optic tuning](#), A. Monmayrant, S. Calvez, P.-F. Calmon, P. Dubreuil, S. Charlot, et al., Optics Express, 30 (10), 16669-16676 (2022).

La microscopie à force atomique, à l'échelle de la molécule unique, dévoile l'architecture des récepteurs couplés aux protéines G présents à la surface de cellules vivantes

Les récepteurs couplés aux protéines G (RCPG) constituent la plus grande famille de récepteurs à la surface des cellules. Malgré des connaissances considérables sur leur pharmacologie, l'architecture des RCPG à la surface des cellules, leur degré d'oligomérisation (monomère, dimère, tetramère etc), les formes actives, leur devenir, restent encore largement inexplorés. Nous présentons ici le dépliement spécifique de différents RCPG à la surface de cellules vivantes de mammifères par spectroscopie de force à molécule unique basée sur la microscopie à force atomique. L'analyse des distances de dépliement des RCPG à l'état de repos a révélé la présence de différentes populations oligomériques qui sont spécifiques aux récepteurs et dépendent de l'expression des récepteurs. De plus, nous montrons que la taille de l'oligomère dicte l'organisation spatiale du récepteur avec des nano-amas d'oligomères d'ordre élevé tandis que les complexes d'ordre inférieur s'étendent sur toute la surface de la cellule. Enfin, l'activité du récepteur remède à la fois les populations d'oligomères et leur disposition spatiale. Ces résultats ajoutent un niveau de complexité supplémentaire à la pharmacologie des RCPGs, considérée jusqu'à présent comme résultant d'une seule population de récepteurs à la surface de la cellule.

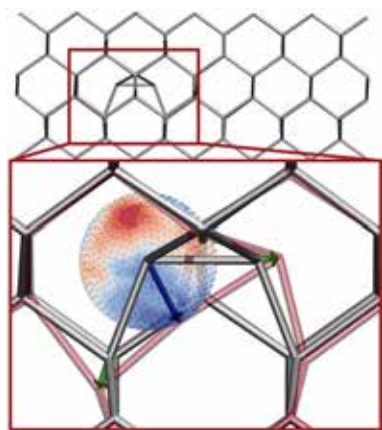


Principe de la mesure, les cellules exprimant les RCPGs sont cultivées sur des boîtes et sont sondées avec les pointes AFM fonctionnalisées reconnaissant spécifiquement les RCPGs. Il en résulte des courbes de force desquelles la distance de dépliement des RCPGs est déduite.

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

En savoir plus : [Atomic force microscopy-single-molecule force spectroscopy unveils GPCR cell surface architecture](#), E. Dague, V. Pons, A. Roland, J.M. Azais, S. Arcucci, V. Lachaize, S. Vermont, E. Trévisiol, D. N'Guyen, J.M. Sénard, C. Galés. *Commun Biol.*, 5(1), 221 (2022).

Un algorithme pour guider la prédiction des déplacements atomiques



L'algorithme développé permet d'explorer de façon systématique les déplacements d'un atome (maillage sphérique), de sélectionner la direction la plus pertinente (flèche bleue) et le champ de déformations locales associé (flèches vertes). Cette information permet de guider efficacement la prédiction de diffusions atomiques dans des paysages complexes.

Prédire les mécanismes de diffusion à l'échelle atomique est un défi qui doit être relevé pour caractériser et améliorer les propriétés de nouveaux matériaux. Les approches de modélisation multi-échelles ont prouvé leur capacité de prédiction pour ce type d'étude. Néanmoins, elles demeurent trop coûteuses en termes de ressources informatiques et d'investissement humain pour être utilisées de façon systématique.

Nous avons développé une approche innovante dont le faible coût de calcul permet une exploration systématique des déplacements atomiques et de leurs effets. Ces déplacements, couplés à des calculs de mécanique quantique, peuvent alors être triés, sélectionnés et utilisés pour guider l'exploration du paysage énergétique, en optimisant le choix des événements significatifs pour l'évolution du système. Cette approche permet de réduire à la fois le temps d'exploration et la charge humaine tout en gardant la précision et le caractère prédictif des calculs ab initio. La méthode développée a été appliquée à l'identification de diffusions atomiques dans deux systèmes d'intérêt différents, montrant son caractère versatile : le greffage d'une molécule d'ADN sur une surface d'oxyde d'aluminium et l'étude du comportement dynamique d'un défaut ponctuel dans le silicium. Cet algorithme et le processus de sélection de déplacements qu'il permet pourront être utilisés et couplés à d'autres méthodologies, notamment la métadynamique et plus largement, les méthodes biaisées de dynamique moléculaire.

Contacts : Marie Brut, marie.brut@laas.fr; Anne Hémerlyck, anne.hemeryck@laas.fr, équipe M3

En savoir plus : [Enhancing DFT-based energy landscape exploration by coupling Quantum Mechanics and Static Modes](#), L. Foulon, A. Hémerlyck, G. Landa, M. Brut, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 24, 12011 (2022).

Ça pousse moins bien quand ça gigote peu

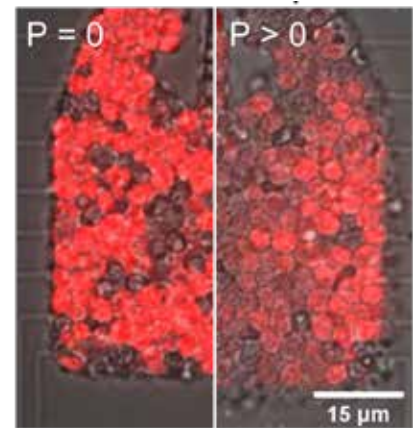
Lorsqu'une cellule croît, elle augmente sa masse en produisant des protéines et autres briques élémentaires et elle augmente son volume par des échanges aqueux. Ces augmentations de masse et de volume sont concomitantes, de manière à conserver une densité intracellulaire de constituants constante. En effet, la densité intracellulaire est un paramètre très régulé : elle module fortement toutes les réactions biochimiques dans la cellule et une augmentation trop importante de cette densité diminue les taux de réactions, en diminuant la mobilité des molécules qui réagissent.

Or, lorsque des cellules prolifèrent dans un environnement confiné, elles n'ont pas autant d'espace pour augmenter leur volume, mais continuent d'augmenter leur masse : nous avons alors montré que sous confinement, la densité intracellulaire augmentait, ce qui a pour conséquence de diminuer la mobilité des molécules dans la cellule. Nous avons étudié la conséquence de cette diminution de la mobilité intracellulaire et avons observé qu'elle avait pour conséquence probable de diminuer les taux de réactions dans la cellule. En conséquence d'une diminution des réactions, nous observons que les cellules croissent moins vite.

Ainsi, plus une cellule pousse confinée, moins ça peut gigoter dedans et moins ça gigote, moins ça pousse. Ce mécanisme peut expliquer comment biophysiquement, la croissance est ralentie sous confinement, sans besoin de régulation biologique spécifique.

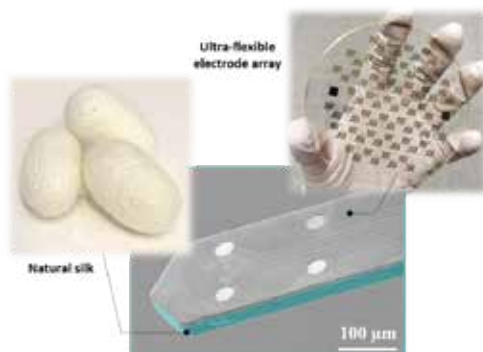
Contact : Morgan Delarue, morgan.delarue@laas.fr, équipe MILE

En savoir plus : [Macromolecular crowding limits growth under pressure](#), B. Alric, C. Formosa-Dague, É. Dague, L. J. Holt, M. Delarue, Nature Physics (2022).



Accumulation de protéines

Vers des implants intra-cérébraux ultra-fins et micro-structurés pour réduire la réponse inflammatoire



Le développement des implants cérébraux offre des perspectives prometteuses pour la réhabilitation des fonctions motrices ou cognitives pour les patients souffrants de paralysies sévères ou de maladies neurodégénératives. A l'heure actuelle, un enjeu important concerne l'amélioration de la stabilité des implants cérébraux, se présentant sous la forme d'électrodes implantables et vise à diminuer les inflammations associées grâce à des dispositifs plus adaptés à l'environnement cérébral.

Cette approche développée par l'équipe MEMS - Microsystèmes électromécaniques consiste à mettre au point des implants dotés de propriétés structurelles et mécaniques similaires à celles de l'environnement cérébral, avec des matériaux très souples et biocompatibles. L'équipe a mis en place les principaux aspects technologiques de fabrication de ces implants ultra-fins (quelques micromètres d'épaisseur), leur assemblage avec une électronique sans-fil, les études de biocompatibilité *in vitro* et la méthode chirurgicale pour insérer les implants *in vivo*. La méthode consiste à encapsuler les implants dans un matériau naturel et biodégradable à base de soie. Ce film permet d'assurer la pénétration de l'implant dans les tissus cérébraux, avant de se dissoudre de façon inoffensive dans l'organisme.

Contact : Ali Maziz, ali.maziz@laas.fr, équipe MEMS

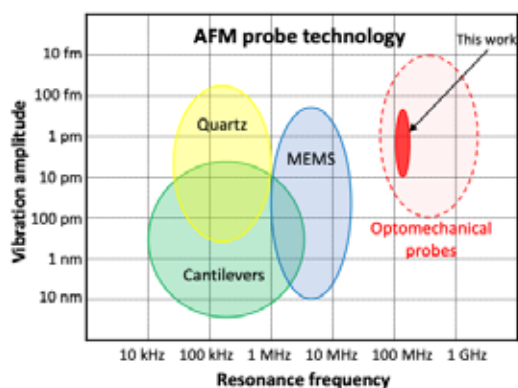
En savoir plus : [Scalable batch fabrication of ultrathin flexible neural probes using a bioresorbable silk layer](#); C. Cointe, A. Laborde, L.G. Nowak, D.N. Arvanitis, D. Bourrier, C. Bergaud, A. Maziz, Microsystems & Nanoengineering 8, 21 (2022).

Vers des sondes au GHz pour la microscopie à force atomique

Un enjeu majeur de la microscopie à force atomique (AFM) se situe dans l'augmentation de la vitesse de mesure, ce qui nécessite des sondes fonctionnant à très haute fréquence. Dans ce travail, des sondes optomécaniques, vibrant 100 fois plus vite que les sondes AFM usuelles, ont été intégrées dans un instrument spécifique entièrement réalisé au LAAS-CNRS. Les expériences menées en environnement ambiant ont conduit à la mise en asservissement du microscope et à l'acquisition de courbes de force, ce qui valide les prérequis essentiels à toute mesure par AFM. Cela ouvre la voie à l'imagerie rapide et à la spectroscopie hautement résolue en temps utilisant la technologie des sondes AFM optomécaniques. Les développements sont issus du projet ANR OLYMPIA (2014-2019). Ils se prolongent depuis 2022 dans le cadre du projet ANR HERMES qui regroupe MPQ à Paris, le CEA-LETI à Grenoble, le LAI à Marseille et le LAAS-CNRS. L'objectif est de poursuivre la montée en fréquence jusqu'au GHz et d'exploiter les sondes optomécaniques pour des expériences de biologie moléculaire.

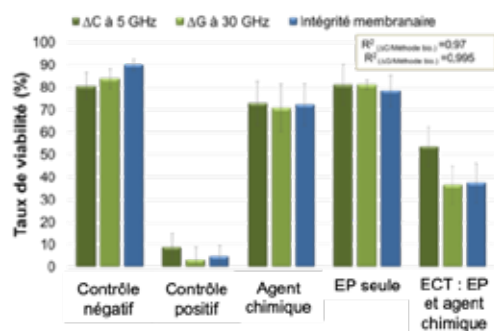
Contact : Bernard Legrand, bernard.legrand@laas.fr, équipe MEMS

En savoir plus : [Very high frequency probes for atomic force microscopy with silicon optomechanics](#), L. Schwab, P. E. Allain, N. Mauran, X. Dollat, L. Mazon, D. Lagrange, M. Gély, S. Hentz, G. Jourdan, I. Favero, and B. Legrand, *Nature Microsystems and Nanoengineering*, 8, 32 (2022).



Cartographie des technologies des sondes existantes pour l'AFM en mode oscillant. Les ellipses colorées représentent la gamme typique des fréquences et amplitudes de vibration accessibles. L'ellipse rouge indique plus largement le potentiel pressenti pour la technologie optomécanique.

Un capteur pour mieux évaluer les conditions d'électrochimiothérapie à appliquer sur des tumeurs



Parmi les thérapies possibles pour traiter des cancers, l'électrochimiothérapie (ECT) est en cours d'étude clinique dans différents pays du monde. Cette technique consiste à faciliter l'entrée d'une drogue chimiothérapeutique grâce à la perméabilisation temporaire de la membrane cellulaire avec l'application locale d'impulsions électriques de forte intensité et donc augmenter l'efficacité de traitement. Des interrogations persistent néanmoins sur les conditions d'ECT à appliquer suivant les patients, afin d'obtenir l'effet souhaité tout en minimisant les effets secondaires et les dommages aux cellules saines. Il est donc intéressant de trouver une technique d'analyse rapide, non invasive, peu coûteuse et qui puisse s'adapter aussi bien à des études cellulaires in vitro qu'in vivo en vue à terme d'une médecine personnalisée et réactive.

En collaboration avec Marie-Pierre Rols de l'Institut de pharmacologie et de biologie structurale (IPBS), l'équipe MH2F - Micro et nanosystèmes hyperfréquences fluidiques du LAAS-CNRS a montré que la spectroscopie diélectrique micro-ondes est compatible avec une telle application et constitue une nouvelle méthode d'analyse cellulaire non invasive et sans marquage appropriée. Elle permet d'acquérir des résultats in vitro équivalents à ceux obtenus par techniques optiques classiques tout en limitant le nombre de cellules requises pour l'analyse à une dizaine seulement, de façon rapide et avec une approche à l'échelle de la cellule individuelle et donc précise. Son adaptation à des analyses in vivo offre de nouvelles perspectives d'observation du vivant et d'application clinique.

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

En savoir plus : [Single cell microwave biosensor for monitoring cellular response to electrochemotherapy](#), A. Tamra, A. Zedek, M.P. Rols, D. Dubuc, K. Grenier, *IEEE Trans. on BioMedical Engineering* (2022).



Distinctions

DAVID PECH, Lauréat d'une bourse ERC « Proof-of-concept »



David Pech, responsable de l'équipe NEO - Nano-ingénierie et intégration des oxydes métalliques et de leurs interfaces du LAAS-CNRS, a obtenu une bourse *Proof-of-Concept* du Conseil européen de la recherche (*ERC European Research Council*) pour son projet « 3D-APP: *High-energy micro-supercapacitors based on low-cost materials* ».

David Pech mène ses recherches dans le domaine des micro-supercondensateurs à faible coût de production. Son projet, figurant parmi les quinze bourses « *Proof-of-Concept* » décernées par l'ERC, s'intéresse essentiellement au micro-stockage de l'énergie pour l'électronique embarquée. Il bénéficiera ainsi d'un financement à hauteur de 150 000 € sur 18 mois.

Lauréat d'une première bourse européenne en 2017 pour le projet « 3D-CAP » sur les micro-supercondensateurs 3D RuO₂, David Pech souhaite aujourd'hui valoriser les résultats de ses recherches en explorant

de nouveaux matériaux actifs pour réaliser des électrodes poreuses tridimensionnelles à base de composants peu polluants et abondants. Le passage à 3D-APP (pour application) devrait ainsi permettre la réalisation faible coût de micro-supercondensateurs Ni/MnO₂ solides possédant de fortes densités d'énergie, et permettre de jouer ainsi un rôle décisif pour l'autonomie des systèmes embarqués dédiés à l'internet des objets.

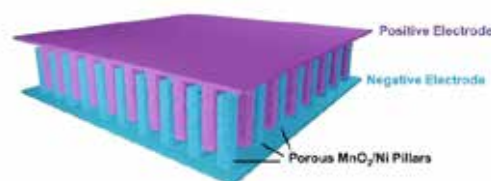


Illustration d'un micro-supercondensateur 3D interdigité à base de Ni/MnO₂

En savoir plus : Actu CNRS Occitanie-ouest

NICOLAS MANSARD, Lauréat de l'Étoile de l'Europe

Nicolas Mansard, chercheur en robotique au sein de l'équipe GEPETTO, médaillé de bronze du CNRS et coordinateur du projet MEMMO, est lauréat de l'Étoile de l'Europe. Ce prix, qui récompense les coordinateurs de projets de recherche collaboratifs européens, lui a été remis le 6 décembre par Sylvie Retailleau, ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

Financé par le programme Horizon 2020 sur une durée de quatre ans, le projet MEMMO (*Memory of Motion*) a réuni un consortium de 10 partenaires européens – dont le LAAS-CNRS pour un budget de 4 millions d'euros. Ce projet européen a eu pour objectif de dépasser le savoir-faire actuel du robot marcheur en combinant des compétences en contrôle prédictif et l'apprentissage automatique.



Le consortium a réuni un groupe d'experts en optimisation numérique, apprentissage machine, contrôle et conception de robot pour dépasser les capacités de contrôle actuels qui ne permettent pas le calcul générique de mouvements complexes en temps réel. L'équipe a ainsi réalisé trois démonstrateurs : un robot humanoïde travaillant dans une usine du futur dans l'aérospatial (en partenariat avec Airbus, leader de cette industrie), un quadrupède pour explorer des structures de génie civil (tunnels de mines, bâtiments et villes - en partenariat avec Costain, le constructeur britannique du tunnel sous la Manche) et un exosquelette (en partenariat avec la fédération APAJH, association pour adultes et jeunes handicapés) pour permettre aux patients paraplégiques de marcher.

Avec une preuve de concept validée, le projet MEMMO ouvre tout un champ de possibilités en termes d'applications industrielles alors qu'une telle technologie révolutionnerait certainement les capacités de mouvement des robots et débloquerait un large éventail de services et d'outils très concrets. « *Aujourd'hui l'exosquelette permet à des patients de travailler leur rééducation en centre hospitalier, mais à terme, il pourrait remplacer le fauteuil roulant.* »

En savoir plus : Article publié sur le site du CNRS et sur le site de l'INS2I du CNRS

ALEXANDRE ARNOULT, Trophée partenariat remarquable de Toulouse Tech Transfer



Alexandre Arnoult, ingénieur de recherche au sein du service TEAM - Techniques et équipements appliqués aux micro et nanotechnologies, a été distingué du Trophée de valorisation de la recherche 2022 de Toulouse Tech Transfer dans la catégorie Partenariat remarquable.

Alexandre Arnoult a reçu cette distinction le 1^{er} décembre lors de la 4^e édition du Trophée de la valorisation organisée par la SATT Toulouse Tech Transfer. Cette distinction récompense la collaboration fructueuse entre le LAAS-CNRS et l'entreprise RIBER, leader mondial des fabricants de systèmes d'épitaxie par jets moléculaires, sous la forme du laboratoire commun EPICENTRE dont il assure la direction.

Ce laboratoire commun a pour objectif d'intégrer une série d'instruments in-situ contrôlant en temps réel le procédé de la croissance épitaxiale. Il représente un budget complet de plus de 9 M€, sept recrutements et un programme scientifique à l'état de l'art. Il mobilise également deux équipes de recherches (MPN et PHOTO) et trois services techniques (TEAM, I2C, IDEA) du LAAS-CNRS, soit en tout une trentaine de personnes réparties entre le LAAS-CNRS et RIBER. Il permettra aux clients de RIBER un gain en productivité grâce aux instruments transférés et au LAAS-CNRS de disposer d'une plateforme originale afin de développer son activité dans des domaines scientifiques de pointe : l'information quantique et la croissance de lasers de type VCSELs.

CLAUDE BARON, Prix honorifique de l'INCOSE Fellow



Claude BARON, professeur d'université à l'INSA de Toulouse et responsable de l'équipe de recherche ISI - Ingénierie système et intégration du LAAS-CNRS, a été distinguée INCOSE Fellow 2022 lors du symposium annuel de l'INCOSE (*International Council on Systems Engineering*), qui s'est déroulé à Detroit, Michigan, USA.

Reconnu comme un accomplissement de carrière important, ce titre prestigieux de INCOSE Fellow confère à Claude BARON le privilège de figurer parmi le cercle restreint, moins de 100 personnes au monde, distinguées pour leurs contributions exceptionnelles à l'art et à la pratique de l'ingénierie des systèmes dans l'industrie, le gouvernement ou le monde universitaire.

Ce titre lui a notamment été décerné pour sa contribution majeure dans l'avancement de l'Ingénierie des systèmes en Europe, par sa recherche novatrice et ses activités d'enseignement. Claude BARON se voit ainsi attribuer la responsabilité de développer de nouvelles connaissances dans cette discipline, de les diffuser et de former les prochaines générations d'ingénieurs systèmes.



KATHLEEN BELHASSEIN, Prix de thèse 2022 de la MSHS-T



Kathleen Belhassein, docteure en psychologie de l'Université Toulouse - Jean Jaurès et anciennement doctorante au sein de l'équipe RIS du LAAS-CNRS, a reçu le prix de thèse 2022 de Maison des sciences de l'Homme et de la société de Toulouse* (MSHS-T).

Ses travaux de recherche « Propositions de stratégies communicatives pour une action jointe Humain-Robot efficace, fluide et durable » dans le cadre de sa thèse ont été récompensés par le conseil scientifique international de la MSHS-T pour ses qualités intrinsèques ainsi que pour son caractère pluri et interdisciplinaire.

Kathleen Belhassein a soutenu sa thèse le 14 décembre 2021 sous la direction de Michèle Guidetti du CLLE - Cognition, langues, langage, ergonomie de l'Université Toulouse Jean Jaurès et Rachid Alami de l'équipe RIS du LAAS-CNRS.

** La MSHS-T décerne chaque année un prix de thèse visant à distinguer des travaux de recherche interdisciplinaires remarquables ayant au moins une discipline du domaine des sciences humaines et sociales au cœur du travail. Le prix récompense une thèse soutenue dans une unité de recherche affiliée à la MSHS-T. Le lauréat ou la lauréate se voit attribuer 1 500 € et est invité-e à présenter son travail à la MSHS-Toulouse.*

ALEKSANDRA MARKOVIĆ, Prix du meilleur poster à la conférence Powermems 2022

Aleksandra Marković, doctorante au sein de l'équipe MEMS - Microsystèmes électromécaniques du LAAS-CNRS, a reçu le prix du meilleur poster lors de la 21^e conférence internationale sur les Micro et nanotechnologies pour la production d'électricité et les applications de conversion d'énergie (PowerMEMS 2022) qui s'est déroulée du 12 au 15 décembre à Salt Lake City, Utah (USA).



Aleksandra Marković a été récompensée pour son travail « *Ultra-Low-Power Logic with contactless capacitive MEMS* », dirigé par Bernard Legrand (équipe MEMS, LAAS-CNRS). Ses travaux de thèse sont menés au sein du projet financé par l'ANR ZerÔuate impliquant 4 laboratoires : CEA-LETI, LAAS-CNRS, ESYCOM et G2ELAB.

Elle était l'une des 45 présentatrices d'affiches à la conférence où elle a montré la nouvelle approche basée sur les MEMS pour le codage des informations logiques. Ce nouveau concept, basé sur des capacités variables réalisées avec des actionneurs à peignes interdigités, permettrait une réduction drastique de la dissipation

d'énergie et donc de la consommation d'énergie par rapport aux technologies courantes basées sur le CMOS. De plus, il résout les problèmes de fiabilité des circuits logiques électromécaniques existants basées sur des relais N/MEMS.

L'objectif de sa thèse est de développer des portes logiques basées sur des dispositifs MEMS sans contact, capables d'effectuer toutes les opérations booléennes de base et de transférer l'information entre elles au niveau d'un circuit logique, consommant finalement moins d'énergie par bit d'information traité que les technologies de la nanoélectronique CMOS.

OLIVIA PEYTRAL-RIEU, Prix de la meilleure présentation orale lors des JNM 2022

Olivia Peytral-Rieu, alors doctorante au sein de l'équipe MH2F - Micro et nanosystèmes hyperfréquences fluidiques du LAAS-CNRS, a reçu le prix de la meilleure présentation orale lors de la 22^e édition des Journées nationales des microondes (JNM 2022) qui s'est déroulée du 7 au 10 juin à Limoges.



Elle a été récompensée pour ses travaux de thèse « Dispositif RF dédié à la détermination des propriétés diélectriques de sphéroïdes entre 500 MHz et 20 GHz » sous la direction de Katia Grenier et David Dubuc (équipe MH2F, LAAS-CNRS).

Elle figurait parmi les 132 présentations orales de la conférence où elle a présenté une partie de ses résultats de thèse, portant sur le développement d'un premier dispositif permettant de réaliser des caractérisations hyperfréquences (HF) de sphéroïdes.

Les caractérisations HF sont très prometteuses pour des applications en biologie parce qu'elles permettent d'étudier de façon non-invasive, non-destructive et sans marquage préalable des échantillons. Des caractérisations des propriétés diélectriques ont déjà été réalisées pour différentes tailles d'échantillons allant de la biopsie à la cellule unique. A l'échelle intermédiaire, des

amats de cellules cancéreuses de quelques centaines de microns de diamètre, aussi appelés sphéroïdes ou micro tissus, n'avaient jamais été étudiés auparavant.

Ainsi, les résultats d'Olivia Peytral-Rieu ouvrent donc de nouvelles perspectives de recherche dans le domaine de la spectroscopie diélectrique hyperfréquence et de l'analyse du vivant.

INÈS MUGUET, Prix de la meilleure présentation aux J2N 2022



Inès Muguet, doctorante au sein de l'équipe MPN - Matériaux et procédés pour la nanoélectronique du LAAS-CNRS, a reçu le prix de la meilleure présentation lors des Journées nationales des nanofils (J2N) qui a eu lieu à Nice du 28 au 30 Septembre.

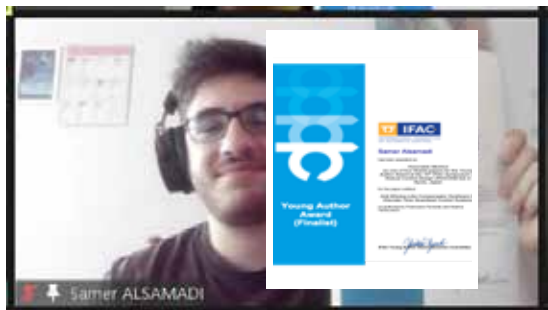
Elle a été récompensée pour sa présentation « Nanoélectrodes 3D pour l'enregistrement et la stimulation de l'activité neuronale à l'échelle sub-cellulaire ». Ses travaux de recherche, dirigés par Guilhem Larrieu (équipe MPN) sont financés par la commission européenne et s'inscrivent dans le cadre du projet européen NEUREKA (grant agreement n°863245).

Inès Muguet travaille sur le développement d'une plateforme de *drug-testing* pour la maladie d'Alzheimer. Pour ce faire, elle développe et optimise des dispositifs d'électrodes à base de nanofils verticaux, qui lui permettent d'enregistrer et de stimuler l'activité neuronale *in vitro* à l'échelle sub-cellulaire. L'objectif de sa thèse est d'obtenir un dispositif fiable et aux performances améliorées via l'utilisation de matériaux spécifiques. Ce dispositif lui permet ensuite d'étudier l'activité neurones de culture, couplés à des modèles computationnels, pour mieux comprendre la maladie d'Alzheimer et faciliter la découverte de traitements.

SAMER ALSAMADI, Finaliste du *Young Author Award* lors du ROCOND'22

Samer Alsamadi a été l'un des quatre finalistes du prix *Young Author Award* lors de la conférence 10th *IFAC Symposium on Robust Control Design* (ROCOND'22) qui s'est déroulée du 30 août au 2 septembre en ligne depuis Kyoto, au Japon.

Samer Alsamadi, alors stagiaire en master 2 au sein de l'équipe MAC - Méthodes et algorithmes en commande du LAAS-CNRS et du GIPSA-lab (durant l'année 2021), a figuré parmi les quatre finalistes du prix « *Young Author Award* »



pour ses travaux. Supervisé par Francesco Ferrante (GIPSA-Lab, Grenoble) et Sophie Tarbouriech (équipe MAC du LAAS-CNRS), le stage de Samer portait sur l'utilisation non standard de boucles anti-windup pour amoindrir les effets non désirés dus à la non-linéarité de type quantification affectant l'entrée du système.

Dans cet article, il a étudié la stabilité de systèmes à temps discret pour lesquels l'entrée est affectée par un quantificateur uniforme. L'objectif pour cette classe de systèmes est de caractériser une approximation de l'attracteur autour de l'origine qui capture les trajectoires du système. Il propose alors d'augmenter le contrôleur avec un signal proportionnel

à l'erreur de quantification, ce qui consiste à utiliser de manière non standard l'approche anti-windup. Cette augmentation permet de réduire la taille de l'attracteur autour de l'origine et l'effort de commande.



ALEXANDRE GAFFET, 1^{er} prix du *Data Challenge* lors de la conférence PHME 2022

Alexandre Gaffet, doctorant en fin de thèse au sein de l'équipe DISCO - Diagnostic, supervision et conduite a reçu le 1^{er} prix du *Data Challenge* organisé par la 7^e conférence européenne de la société *Prognostic and Health Management* (PHMe) qui s'est déroulée du 6 au 8 juillet à Turin (Italie).



Alexandre Gaffet a été récompensé pour son travail « *A Hierarchical XGBoost Early Detection Method for Quality and Productivity Improvement of Electronics Manufacturing Systems* ». Ses travaux de thèse CIFRE sont menés en collaboration avec le LAAS-CNRS et l'entreprise Vitesco Technologies.

La *PHM Society* a été à l'avant-garde de la promotion de la recherche dans le domaine de la *Prognostic and Health Management* par le biais de son concours annuel *PHM Data Challenge*, qui a lieu presque chaque année depuis 2008. Une trentaine d'équipes ont participé à ce *Data Challenge*. La solution gagnante proposée par Alexandre Gaffet développe des modèles d'apprentissage automatique

supervisés pour aider à la détection rapide de défauts sur une ligne de production de cartes électroniques. Cette solution permet d'améliorer la qualité des produits ainsi que l'efficacité de la chaîne de production et peut être utilisée sur un grand nombre de ligne de production.

L'objectif de sa thèse est de proposer et de développer des méthodes d'apprentissage automatique non supervisées pour aider à la prise de décision concernant l'amélioration d'un processus de test en développant une méthode de diagnostic réaliste prenant en compte des contraintes fortes.



ANNE CALVEL, Prix étudiant lors du 4th World Congress on Electroporation & Pulsed Electric Field in Biology, Medicine, Food and Environmental Technologies

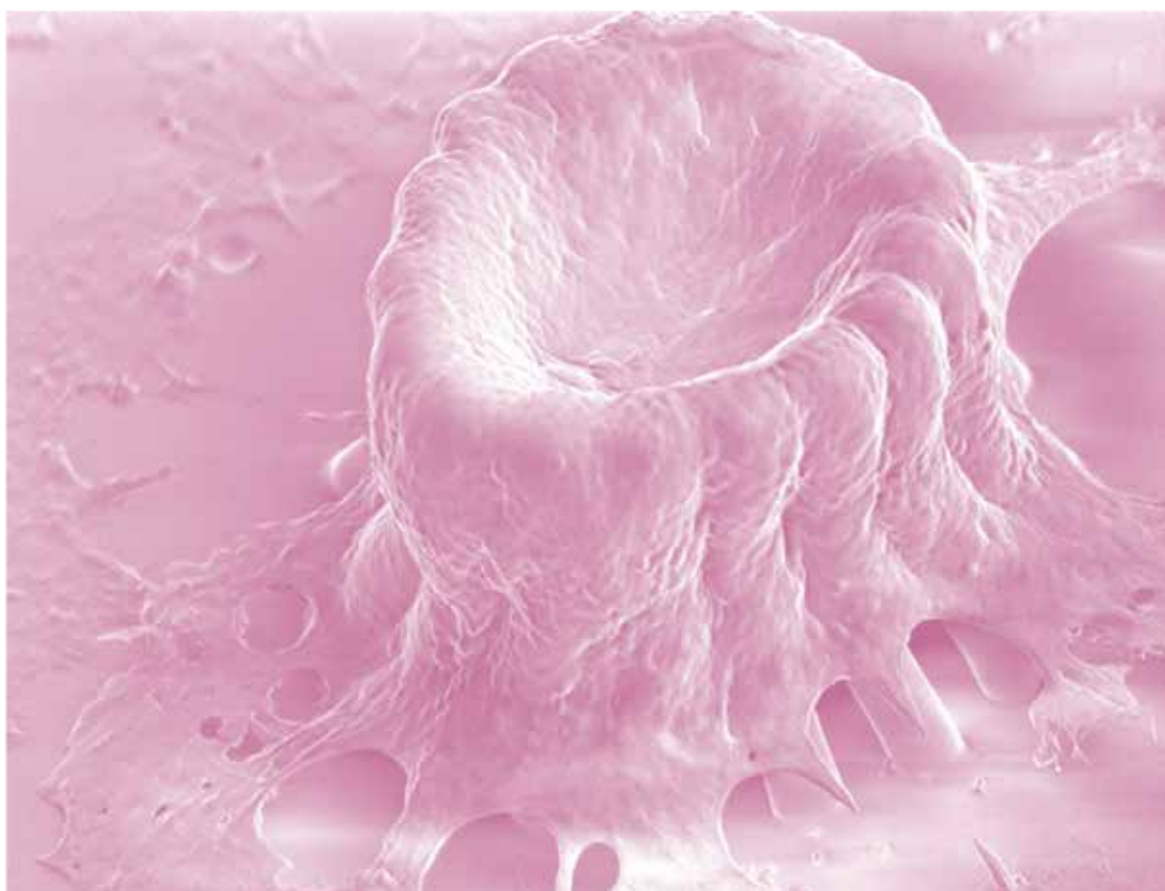
Anne Calvel, doctorante au sein de l'équipe MH2F – Micro et nanosystèmes hyperfréquences fluidiques du LAAS-CNRS et de l'équipe Biophysique cellulaire de l'IPBS-CNRS, a reçu l'un des prix étudiant de la 4^e édition du *World Congress on Electroporation & Pulsed Electric Field in Biology, Medicine, Food and Environmental Technologies* qui s'est déroulé du 9 au 13 octobre à Copenhague, au Danemark.

Elle a été récompensée pour ses travaux de thèse portant sur l'analyse non invasive en temps réel du phénomène d'électroporation sur cellules biologiques individuelles et réalisés sous les directions de David Dubuc et Katia Grenier (équipe MH2F, LAAS-CNRS) et Marie-Pierre Rols (équipe Biophysique cellulaire, IPBS-CNRS).

Dans le cadre de l'électrochimiothérapie développée pour lutter contre le cancer, il est important de mieux comprendre les phénomènes d'interaction des ondes électromagnétiques à l'échelle cellulaire et de pouvoir définir en amont du traitement à appliquer sur patient les paramètres électriques et chimiques les plus adaptés afin d'en optimiser leur efficacité en vue d'une médecine personnalisée. Pour cela, il est nécessaire de développer des nouvelles instrumentations d'analyse qui soient non invasives et dont la réponse puisse être donnée la plus précocement possible, que ce soit à l'échelle cellulaire ou au niveau organes. A ces fins, Anne Calvel développe à l'échelle de la cellule unique une instrumentation qui à la fois électropore de façon contrôlée et réversible la membrane plasmique mise en contact avec un agent thérapeutique, ici une molécule anticancéreuse, et qui analyse par spectroscopie diélectrique micro-onde les modifications cellulaires globales en temps réel sans marquage.

Ce prix récompense donc les premiers résultats de Anne Calvel sur cette thématique importante que représente l'électrochimiothérapie avec des perspectives de médecine personnalisée.





Amas de cellules biologiques « collé » à des piliers souples micrométriques se dégonflant dans le vide du microscope électronique



Projets nationaux et internationaux

Nos projets ANR

Acronyme	Titre	Contact
AD-LIB	An aggregation-disaggregation library for sequential decision models	Christian Artigues Équipe ROC
ANDES	Méthodes basées sur l'intelligence artificielle pour le design de nano-anticorps	Juan Cortès Équipe RIS
BAC2WALK	Understanding locomotion mechanical balance to support walking rehabilitation through wearable technologies	Bruno Watier Équipe GEPETTO
CORNFLEX	Méthodes computationnelles pour la conception de protéines intrinsèquement désordonnées : application aux connecteurs flexibles	Juan Cortès Équipe RIS
DELIGHT	Faire progresser l'apprentissage fédéré tout en réduisant l'empreinte carbone	Balakrishna Prabhu Équipe SARA
DRYSALT	Séchage d'une solution saline en milieu poreux	Pierre Joseph Équipe MILE
EOS	Aide à la gestion active de l'obsolescence des systèmes	Claude Baron Équipe ISI
EPLER	Planification et apprentissage efficaces pour le partage de ressources	Matthieu Jonckheere Équipe SARA
FLEXIGAN	Selective GaN growth on patterned hBN for transferring MEMS onto flexible substrates	Fabrice Mathieu Service I2C
HIS3	Human-centered interaction for smarter supervision of production systems	Cyril Briand Équipe ROC
INVICT-US	Mécanotransduction in vitro déclenchée par ultrasons	Laurent Malaquin Équipe ELIA
MIGNON	Measurement of physical properties of gases using resonant MEMS for chemical detection in hostile environments	Fabrice Mathieu Service I2C
NAINOS	Nano-technologie et intelligence artificielle pour une nouvelle génération de stockage d'information optique	Peter Wiecha Équipe MPN
NanoTopoAdhesion	Détection de nanotopographies par les macrophages	Christophe Thibault Équipe ELIA
PRISME	A guided self-organized ASC multiorganoid as advanced medicinal therapeutic product for long-lasting reeducation of cell behavior and tissue function in age-related periodontal disease	Julie Foncy Service I2C
STEREO	Convergence IoT - Satellite	Pascal Berthou Équipe SARA
SWEET	Sub-wavelength electro-optic systems	Henri Camon Équipe PHOTO
VERDICT	Vectorial wave front analyser for diffractive optics characterization	Peter Wiecha Équipe MPN
HoRoPo	Peau et mouvements corps complet avec de larges objets par des robots humanoïdes contrôlés en couple et en position	Olivier Stasse Équipe GEPETTO
DISCUTER	Dialogue interactif structuré, consolidé et unifié pour la réalisation de tâches en Robotique	Aurélie Clodic Service IDEA
PANACHE	Déploiement d'une flotte de drones pour le suivi temps-réel de pollution atmosphérique accidentelle	Simon Lacroix Équipe RIS
DynamoGrade	Laboratoire commun DynamoGrade - La force de la marche - Phase de montage	Nicolas Mansard Équipe GEPETTO
MoleculArXiv	Next generation synthesis of DNA - PEPR Exploratoires	Guilhem Larrieu Équipe MPN
NGSD	Next generation synthesis of DNA	Guilhem Larrieu Équipe MPN
PAC	Contrat attributif d'aide PEPR Électronique	Hugues Granier Service TEAM
PC3-1:T-REX 6G	Projet ciblé « PC-3-1-Actif III-V THz » dans le cadre du PEPR Électronique	Jean-Guy Tartarin Équipe ISGE

Le LAAS-CNRS partenaire d'une douzaine de projets PEPR

Les programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR) font partie des nouveaux outils de pilotage de la recherche instaurés par l'État dans le cadre de la stratégie France 2030, dédiés au financement de la recherche fondamentale (TRL 1 à 4). Ils ont pour objectif de construire ou consolider un *leadership* français dans des domaines scientifiques liés à une transformation technologique, économique, sociétale, sanitaire ou environnementale et qui sont considérés comme prioritaires au niveau national ou européen.

Deux types de projets sont distingués : les PEPR adossés aux stratégies nationales d'accélération qui visent à accompagner des transformations déjà engagées et les PEPR exploratoires qui ciblent le soutien de transformations qui émergent ou en sont à leurs prémices.

Le LAAS-CNRS est impliqué à différents niveaux dans une douzaine de PEPR co-pilotés par le CNRS, lancés ou en cours, dans des domaines très variés : électronique, cybersécurité, technologies quantiques, spintronique, robotique, 5G et réseaux du futur, technologies avancées des systèmes énergétiques, eau, stockage sur ADN... Par exemple, dans le cadre du PEPR électronique, le LAAS-CNRS coordonne une action concertée sur le packaging et bénéficiera aussi de financements pour l'acquisition de nouveaux équipements à haute technicité. Ces équipements uniques au niveau régional viendront enrichir les capacités technologiques de la salle blanche du LAAS-CNRS en lithographie et en microscopie électronique haute résolution.

En savoir plus : Information sur les PEPR copilotés par le CNRS : <https://www.cnrs.fr/fr/pepr>



Le LAAS-CNRS partenaire de sept projets défis-clés de la région Occitanie



Les projets « Défis clés » sont un nouveau dispositif mis en place par la Région Occitanie afin de fédérer et renforcer la recherche régionale dans des domaines stratégiques de la circonscription. Dotés d'un budget de 2 M€ pour une période de cinq ans, ces projets ont pour ambition de stimuler la recherche amont, développer la formation et renforcer la collaboration et l'innovation avec les industriels.

Le LAAS-CNRS est co-porteur de deux projets défis clés (Robotique centrée sur l'humain et Institut de cybersécurité de l'Occitanie « ICO ») et il est partenaire de cinq autres projets : Institut quantique occitan, Mobilité intelligente et durable, Observation de la terre et territoires en transition, Photovoltaïque en conditions non standard, Water Occitanie.

Par exemple, le défi clé « Robotique centrée sur l'humain » co-porté par le LAAS-CNRS et le LIRMM de Montpellier vise à promouvoir les avancées scientifiques et technologiques autour de la machine intelligente, dans un souci accru d'amélioration des conditions de travail et de la qualité de la vie ainsi que du respect de l'environnement. Il s'agit, d'une part, d'accompagner la robotique industrielle vers les schémas innovants de l'usine 4.0, mieux maîtrisés et connectés à l'ensemble des besoins et des contingences de la société, et, d'autre part, de lever un ensemble de verrous pour le développement de la robotique de service dans différents secteurs clés (industrie 4.0, médical, agriculture et bâtiment, robotique de terrain, robotique d'assistance).

Un autre exemple est le défi clé « Institut de cybersécurité de l'Occitanie », co-porté par le LAAS-CNRS avec une quinzaine de partenaires, qui prône une approche pluridisciplinaire de la cybersécurité en associant des expertises issues des sciences informatiques, des mathématiques ainsi que des sciences humaines et sociales (juridiques, sociologiques, géopolitiques et économiques de la cybersécurité).

euROBIN : vers un réseau d'excellence de la robotique européenne

euROBIN est le réseau d'excellence du programme Horizon-2021 RIA qui rassemble l'expertise européenne en matière de robotique et d'intelligence artificielle. Il associe trente-deux partenaires répartis dans quatorze pays, dont vingt-quatre laboratoires de recherche renommés qui mènent conjointement des recherches sur la robotique avancée. Ce projet vise à faire progresser les concepts, logiciels et composants matériels de la robotique dans le cadre d'une approche reproductible. Les objectifs sont à la fois des avancées scientifiques significatives sur des questions fondamentales de la robotique basée sur l'IA et le renforcement de la communauté scientifique de la robotique en Europe en fournissant une plateforme communautaire intégrative. Les concepts, les logiciels, données et connaissances issus du projet seront échangés via le référentiel EuroCore, conçu pour devenir une plateforme centrale pour la robotique en Europe. Le réseau est ouvert à l'ensemble de la communauté robotique et prévoit des mécanismes de financement en cascade. euROBIN a débuté en juillet 2022 pour une durée de quatre ans. Il implique les équipes RIS - Robotique et interactions et Gepetto - Mouvement des systèmes anthropomorphes du département Robotique du LAAS-CNRS.



Contacts : Thierry Siméon, thierry.simeon@laas.fr; Rachid Alami, rachid.alami@laas.fr, équipe RIS
En savoir plus : <https://www.eurobin-project.eu/>

IBAIA : une nouvelle initiative pour améliorer le suivi de la qualité de l'eau en accord avec les objectifs du Pacte vert pour l'Europe

La pollution de l'eau est un problème mondial entraînant un renforcement des réglementations et un besoin croissant de solutions innovantes de surveillance, en lien avec les objectifs du Pacte vert pour l'Europe. Des techniques mesurant la concentration de substances polluantes dans l'eau sont disponibles, mais elles sont encombrantes, coûteuses et inadaptées à une surveillance continue in situ.

Le projet européen IBAIA, coordonné par le CNRS, réunit dix-sept partenaires pour créer, développer, mettre au point et valider un système multicapteurs de nouvelle génération, permettant la surveillance précise des produits chimiques organiques, des microplastiques, des nutriments et des métaux lourds. S'appuyant sur l'expertise du consortium dans les domaines des sciences des matériaux, de la photonique, de l'électrochimie, de la microfluidique, du traitement des données et de l'intégration système/conditionnement technologique, ces capteurs seront intégrés et conditionnés dans un seul système multi-capteur modulaire, validé par les utilisateurs finaux dans des conditions réelles in situ. Le LAAS-CNRS sera particulièrement impliqué dans le développement d'optodes ainsi que dans l'intégration microfluidique.



Contact : Vincent Raimbault, vincent.raimbault@laas.fr, équipe MICA
En savoir plus : IBAIA Innovative environmental multisensing for waterbody quality monitoring and remediation assessment. European Union's Horizon Europe Framework Programme under grant agreement No 101092723.
<https://ibaia.eu>

Memmo : une mémoire du mouvement pour les robots avec des jambes

Et si nous pouvions générer des mouvements complexes pour un robot avec n'importe quelle combinaison de bras et de jambes interagissant avec un environnement dynamique en temps réel ? MEMMO a proposé les bases d'une telle technologie de génération de mouvements qui révolutionnera les capacités de mouvement des robots. Construite sur la théorie du contrôle optimal, nous développons une approche unifiée et traçable de la génération de mouvement pour les robots complexes. Cette approche repose sur trois éléments novateurs : 1) Une quantité massive de mouvements optimaux précalculés est générée hors ligne et comprimée dans une « mémoire de mouvement » ; 2) Quand le robot bouge dans un environnement nouveau et dynamique, cette mémoire est sollicitée pour produire des mouvements approximatifs, qui sont améliorés et garantis par une méthode de résolution appelée contrôle prédictif ; 3) Divers capteurs (vision, inertie, haptique) sont exploités pour un contrôle conforme aux attentes et précis.

Pour démontrer cette approche, MEMMO a été testé dans le cadre de trois applications industrielles et médicales, où nos technologies ont un énorme potentiel d'innovation : 1) un robot humanoïde a effectué des tâches de locomotion et d'outillage dans un démonstrateur à l'échelle 1:1 d'un assemblage d'avion ; 2) Un exosquelette associé à un patient paraplégique a fait la démonstration d'une marche dynamique en milieu médical et dans le cadre des challenges Cybathlon ; 3) Un robot quadrupède a effectué des tâches d'inspection difficiles sur un véritable chantier de construction. Ces réussites sont la conséquence du travail collaboratif du consortium Memmo, incluant dix partenaires académiques et industriels.



Contact : Nicolas Mansard, nicolas.mansard@laas.fr, équipe GEPETTO

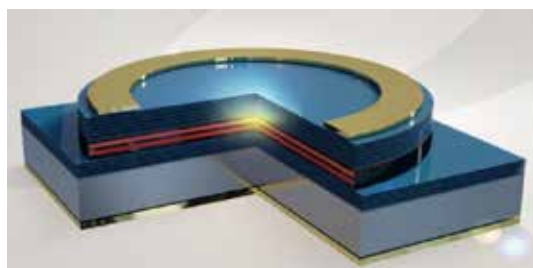
En savoir plus : Projet Memory of Motion (<https://www.memmo-project.eu/>), H2020 ref 780684, call H2020-ICT-2017-1

D'autres photos: <https://www.memmo-project.eu/gallery>, le fil Twitter: <https://twitter.com/MemmoEU>

35

Changer la donne pour l'industrie de la photonique : une nouvelle technologie laser

Le secteur des VCSEL (lasers à cavité verticale) se développe de manière dynamique avec une demande de production qui devrait tripler au cours des prochaines années, car ils sont des éléments de base pour la reconnaissance 3D, le transfert de données à très haut débit, ou toutes sortes de capteurs. Ce projet propose une solution innovante qui est de fabriquer ces VCSEL sur des wafers Germanium, avec le potentiel de changer la donne pour l'industrie photonique. La démonstration de dispositifs Ge-on-Si très performants peut ouvrir des marchés potentiellement importants, allant des communications optiques de données à l'imagerie, l'éclairage et l'affichage, en passant par le secteur manufacturier, les sciences de la vie, la santé, la sécurité et la sûreté. La nouvelle technologie mise au point dans le cadre du projet PhotoGeNIC devrait permettre d'obtenir des rendements plus élevés et de réduire l'empreinte carbone en offrant des possibilités de recyclage du substrat à chaque étape. Les résultats attendus sont également la production de wafers de Ge plus grands avec une meilleure qualité et uniformité, et des densités de défauts plus faibles, ce qui améliorera la technologie de croissance par épitaxie sur les substrats de Ge et augmentera la fiabilité du processus de fabrication des dispositifs.



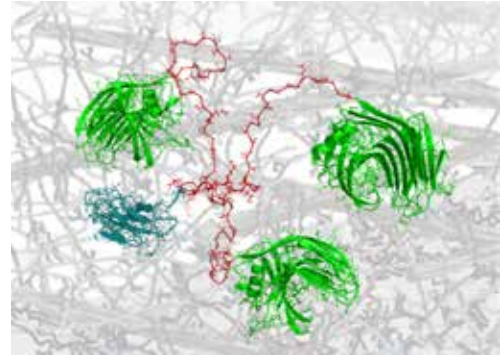
Contact : Guilhem Almuneau, guilhem.almuneau@laas.fr, équipe PHOTO

En savoir plus : <https://horizon-photogenic.eu/>

CORNFLEX : algorithmes pour la conception de protéines hautement flexibles

Les problèmes de prédiction structurale et de design de protéines ont jusqu'alors été principalement formulés en supposant que les protéines se replient sous une forme tridimensionnelle bien définie. Pourtant, de plus en plus de travaux montrent que les protéines/régions intrinsèquement désordonnées (IDPs/IDRs) ont un rôle essentiel, malgré l'absence de structures permanentes.

Ces dernières années, des chercheurs de l'équipe RIS - Robotique et interactions ont mené des travaux de recherche interdisciplinaire, en collaboration avec des biophysiciens et des biologistes, avec l'objectif de comprendre et rationaliser les relations entre la séquence, les propriétés structurales et la fonction des IDPs/IDRs. Le premier objectif de CORNFLEX est d'améliorer nos méthodes de modélisation prédictive et de les étendre pour traiter les problèmes de design d'IDPs/IDRs, sur la base d'une formulation originale s'appuyant sur des concepts et des avancées récentes en statistiques et en intelligence artificielle. Cela nous permettra d'anticiper les perturbations structurales exercées par les mutations et, enfin, de concevoir des protéines artificielles (*de novo*) hautement flexibles avec des propriétés ciblées.



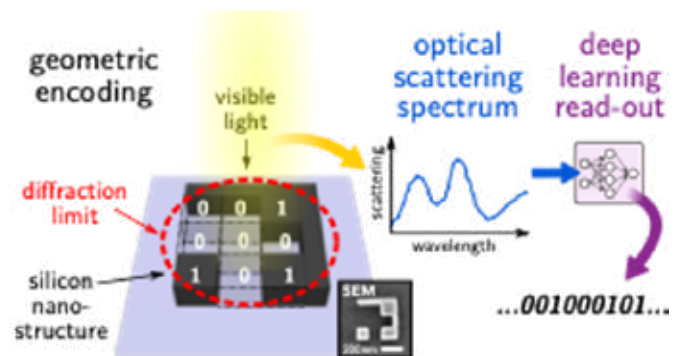
Bien que les méthodes développées visent à être générales, nous nous concentrerons sur une application de preuve de concept : la conception de linkers flexibles dans des enzymes multi-modulaires afin d'améliorer leur activité catalytique vers la déconstruction de la paroi cellulaire végétale (PCW). La biomasse de PCW a un vaste potentiel en tant que ressource renouvelable. Ainsi, les résultats de ce projet visent à apporter des solutions méthodologiques pour aider à construire une économie écologiquement durable.

Contact : Juan Cortés, juan.cortes@laas.fr, équipe RIS
En savoir plus : [ANR-22-CE45-0003](https://anr-22-ce45-0003)

36

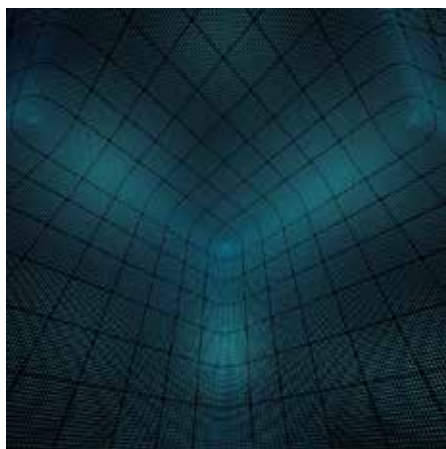
NAINOS : stockage d'information optique : rencontre de la nano-technologie et de l'IA pour l'innovation

Les concepts classiques de stockage optique (Blu-ray) sont physiquement contraints dans leur densité d'information par la limite de diffraction optique. NAINOS vise à développer un concept combinant des nanostructures de silicium, la photonique et l'apprentissage profond (AP). L'approche est basée sur des nanostructures conçues de telle sorte que chaque géométrie code plusieurs bits d'information, et est optimisée pour produire une réponse optique unique. Les mesures optiques spectrales envoyées à l'AP permettent ensuite de récupérer des informations numériques plus denses que la limite de diffraction. Le but est de maximiser le nombre de bits encodé par nanostructure, de développer des techniques avancées de fabrication 3D et d'inventer des schémas de lecture pour des couches empilées de nanostructures. Ce travail inclura également des études sur les interactions optiques entre des nanostructures voisines avec le but de trouver des configurations qui sont particulièrement robustes aux perturbations. Potentiellement le projet apportera à la fois une réponse à la demande de capacité de données croissantes et à sa consommation d'énergie.



Contact : Peter Wiecha, peter.wiecha@laas.fr, équipe MPN
Titre officiel du projet : [Nano-technologie et intelligence artificielle pour une nouvelle génération de stockage d'information optique](https://anr-22-ce45-0003)

Algorithmes d'apprentissage frugaux pour le partage de ressources



Les processus décisionnels de Markov (MDP) et l'apprentissage par renforcement (RL) ont connu un grand succès ces dernières années grâce à des algorithmes qui ont permis d'obtenir des performances étonnantes par exemple dans des jeux comme les échecs ou le go. Toutefois, ces avancées reposent souvent sur des capacités computationnelles hors du commun et ne sont pas facilement applicables dans des contextes où les données et les ressources sont limitées. Pour définir la prochaine génération d'algorithmes plus « démocratiques » et plus largement applicables, ces méthodes doivent encore faire face à des problèmes d'exploration très exigeants dès que les espaces d'états/actions croient. Une façon de contourner ce problème est d'utiliser les connaissances sous-jacentes et des propriétés structurelles présentes dans de nombreux MDP. Cela est particulièrement vrai pour les problèmes liés à la planification et au partage de ressources, qui constituent des cas d'usage centraux pour ce projet ANR.

Contact : Matthieu Jonckheere, matthieu.jonckheere@laas.fr, équipe SARA
En savoir plus : [EPLER: Efficient Planning and Learning for Resource Sharing](#), AAPG 2021, CE23

37

Aider l'homme à superviser la production dans l'industrie du futur : les technologies sont-elles magiques ?

La 4^e révolution industrielle se targue d'améliorer les performances et les conditions de travail des hommes impliqués dans les processus de production. Au plus près des machines, les opérateurs interagissent ainsi de plus en plus avec les nouvelles technologies introduites dans leur environnement de travail telles que cobots, lunettes à réalité augmentée, exosquelettes, outils connectés, etc. Le métier de superviseur de production ne fait pas exception à la révolution technologique. Ce métier, réputé stressant, consiste à planifier et suivre les activités de production au plus près, collecter et traiter en temps réel l'information et réagir au mieux aux fréquents aléas (pannes, défauts, ruptures de stock) en replanifiant dynamiquement la production. Ces missions mettent en jeu des processus cognitifs complexes qui nécessitent d'intégrer, en urgence et sous pression, des quantités considérables d'informations interdépendantes. De nombreux éditeurs logiciels proposent des outils d'aide à la décision, faisant appel à des technologies innovantes (IA, jumeaux numériques, réalité virtuelle), censées proposer en temps réel aux superviseurs des décisions adaptées aux imprévus. Le projet multidisciplinaire ANR HIS³ propose d'étudier en quoi ces technologies seraient nécessairement gages d'une meilleure performance et d'un accroissement du bien-être des superviseurs. Ne faut-il pas craindre le développement d'un sentiment de perte de conscience de la situation, voire d'aversion aux algorithmes ? Comment humains et algorithmes peuvent-ils interagir ? Comment prendre en compte la dimension collective de l'action humaine ? Telles sont les questions que des spécialistes d'ergonomie cognitive, d'interaction humains-systèmes et de recherche opérationnelle considéreront au sein du projet ANR HIS³.

Contact : Cyril Briand, cyril.briand@laas.fr, équipe ROC
En savoir plus : [HIS³: Human Centered Interaction for Smarter Supervision of production Systems](#), AAPG 2022, ANR-22-CE10-0012-05



Collaborations industrielles

Nos projets industriels

Titre	Partenaire	Contact
Simulation à l'échelle atomique des effets de déplacement dans les semi-conducteurs - CIFRE	CEA	Anne Hémerlyck Équipe M3
Fiabilisation des convertisseurs grand gap isolés pour applications embarquées - CIFRE	CEA	David Trémouilles Équipe ISGE
Mise en place d'un cadre d'ingénierie système adapté à l'ingénierie des nanosatellites - Adaptation des standards ECSS à un contexte New Space - CIFRE	EXPLEO FRANCE	Philippe Estéban Équipe ISI
Développement d'un système embarqué de détection et collecte de données dédié à la détection des éclairs - CIFRE	METEORAGE	Christophe Escriba Équipe S4M
Étude et réalisation d'une méthodologie de susceptibilité champ proche hyperfréquence	CEA	Alexandre Boyer Équipe ESE
Fabrication et caractérisation de transistors analogues fabriqués à basse température (400°C) pour les applications More Than Moore	CEA	Filadelfo Cristiano Équipe MPN
Développement d'un système agile et résilient qui permettrait de protéger les équipements de la chaîne RF située en aval	CNES	Gaëtan Prigent Équipe MOST
Utilisation de réseaux de neurones « adversariaux » pour générer des données d'intrusion réseau réalistes	CYBLEX TECHNOLOGIES	Philippe Owezarski Équipe SARA
CORAIL3D - Bibliothèque numérique ouvertes à des structures 3D coralliennes	Fondation Dassault Systèmes	Christophe Vieu Équipe ELIA
OwnBatt 'Open poWer coNtroller for BATtery Testing	MOB-ION	Luiz Fernando Lavado Villa Équipe ISGE
Chaire industrielle « Retail responsable »	ONE STOCK	Sandra Ulrich Ngueveu Équipe ROC
SMARTPULSE - Intelligence artificielle embarquée pour la mesure de paramètres vitaux	OTONOMY	Hélène Tap Équipe OASIS
Synthèse d'un outil intelligent pour le suivi de santé et la maintenance	BOSCH	Yannick Pencilé Équipe DISCO
AI4NB - AI-assisted nanobody design	SANOFI-AVENTIS	Juan Cortès Équipe RIS
Adaptation d'un banc de mesure champ proche à la caractérisation de l'énergie rayonnée par un convertisseur de puissance	SPHEREA TEST & SERVICES	Alexandre Boyer Équipe ESE
Transistors et amplificateurs hyperfréquences basés sur la technologie grand gap à base de nitrure de gallium (GaN)	THALES ALENIA SPACE FRANCE	David Trémouilles Équipe ISGE
DOPAMOS2 - Caractérisation RF de dosimètres passifs à base de transistors MOS	TRAD	Patrick Pons Équipe MINC
GANRET - Évaluation de la fiabilité de la technologie des semi-conducteurs de puissance en nitrure de gallium (GaN)	IRT Antoine de St-Exupéry	David Trémouilles Équipe ISGE
Optimisation de réseaux de collecte de données de capteurs hydrométéorologiques - CIFRE	OGOXY	Alexandru Takacs Équipe MINC
Optical micro-combs for microwave and optical frequency synthesis	CNES	Olivier Llopis, Arnaud Fernandez Équipe MOST
Quantification et perfectionnement de l'intégrité de la localisation multi-modalité et multi-contexte - CIFRE	TORUS	Patrick Danès Équipe RAP
Laboratoire commun DynamoGrade - La force de la marche avec TOWARD - Labcom	TOWARD	Nicolas Mansard Équipe GEPETTO
NanoHeliFlex - Contrat de maturation pour le projet NanoHeliFlex (ICMCB/CBMN/LAAS) - Maturation	SATT Aquitaine Science Transfer	Christian Bergaud Équipe MEMS
3D-CAP - Scale up de la technologie : Développement d'une supercapacité de 1 à 10 cm ² - Maturation	SATT Toulouse Tech Transfer	David Pech Équipe NEO
LOCAFLEET - Démonstrateur physique embarqué pour le cas d'usage « véhicule de chantier / sécurité des opérateurs » - Maturation	SATT Toulouse Tech Transfer	Soheib Fergani Équipe DISCO

DYNAMOGRADE : un laboratoire commun pour faire marcher les robots



Le LAAS-CNRS s'associe avec *Toward*, jeune pousse Toulousaine spécialisée dans les robots autonomes, pour créer le laboratoire joint Dynamograde, « la force de la marche ». Le but de cette collaboration est de mener des recherches et des développements innovants dans le domaine de la locomotion des robots bipèdes et quadrupèdes. Les chercheurs de l'équipe GEPETTO du LAAS-CNRS complètent ainsi leur expertise dans les modèles et algorithmes de marche dynamique avec le savoir-faire et les capacités de mise en oeuvre des ingénieurs de *Toward*. L'équipe se rapproche ainsi du constructeur de robots PAL, dont *Toward* est issu. Ensemble, ils travaillent sur des problématiques complexes telles que la gestion des forces de contact et la navigation dans des environnements semi-structurés.

Les défis qui attendent le laboratoire commun sont multiples : optimisation des mouvements des robots marcheurs, perception pour l'autonomie des robots dans des environnements 3D, avec escaliers ou trottoirs, manipulation dans des tâches industrielles. Le laboratoire commun doit déboucher sur des solutions innovantes pour la locomotion des robots marcheurs, bipèdes ou quadrupèdes et ouvrir la voie à de nouveaux développements passionnants dans le domaine de la robotique.

Contact : Nicolas Mansard, nicolas.mansard@laas.fr, équipe GEPETTO
En savoir plus : [Dynamo-Grade](#) - ANR-21-LCV3-0002 - La force de la marche

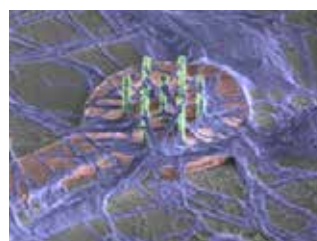
41

SENSCELL : projet de valorisation d'une technologie bio-puces de réseaux de nanoélectrodes pour de l'électrophysiologie *in-vitro*

La recherche en développement des nouveaux médicaments en neurosciences et cardiologie se caractérise par un taux de succès faible qui s'explique notamment par le manque d'outils ayant une résolution suffisante pour avoir des résultats pertinents. Les outils qui permettraient d'avoir une meilleure résolution sont quant à eux intrusifs, ce qui empêche d'avoir des études précliniques *in vitro* fiables.

Lauréat du programme RISE de CNRS Innovation, qui accompagne les projets de création d'entreprise *deeptech* fondés sur des technologies développées au CNRS, le projet SensCell capitalise sur une famille de brevets issus du LAAS-CNRS. Elle propose des biopuces contenant des réseaux d'électrodes nanostructurées en 3D permettant de suivre l'activité électrique de cellules vivantes électroactives (neurones, cellules cardiaques) avec une grande précision. L'avancée proposée ici est double : la technologie permettra l'évaluation fonctionnelle de l'activité neurale à plusieurs niveaux, aux échelles spatiales et temporelles, des synapses aux réseaux, et de la milliseconde à la semaine ou au mois avec une très haute résolution et de manière non destructive. L'objectif est de lancer la commercialisation de petites séries de produit du laboratoire ainsi que de déployer la production sur des filières industrielles. La solution s'adresse à la fois à l'industrie pharmaceutique pour les études pré-cliniques, à la recherche et développement et prochainement au diagnostic de patients (cellules souches) en neurologie et en cardiologie.

RISE
CNRS
INNOVATION



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

SANDRA NGUEVEU, titulaire de la chaire OneStock retail responsable

Spécialisée en recherche opérationnelle au sein de l'équipe ROC - Recherche opérationnelle, optimisation combinatoire et contraintes, Sandra Ulrich Ngueveu est titulaire de la chaire « *Retail responsable* » qui traitera des enjeux d'un commerce omnicanal plus responsable.

Associant les forces scientifiques du LAAS-CNRS et de formation de Toulouse INP-ENSEEIH, la chaire est soutenue par la société OneStock, leader européen de l'*Order Management System* (OMS).

Elle vise à développer des algorithmes dits de décision qui contribuent à la gestion responsable des e-commandes en réduisant leur empreinte carbone.

Ainsi, ses travaux se focaliseront sur l'optimisation de la performance environnementale des livraisons confiées à de multiples transporteurs et provoquées par la multiplication des canaux de commande et des points de distribution (entrepôts, boutiques).

En complément du volet recherche, le programme de la chaire OneStock contribuera à différents projets pédagogiques de Toulouse INP-ENSEEIH pour former des ingénieurs acteurs des transitions socio-écologiques, environnementales et numériques.

L'ensemble de la chaîne de valeur du e-commerce est impliquée : du consommateur soucieux de l'empreinte carbone de ses achats aux commerçants qui proposent des offres de vente omnicanales jusqu'aux transporteurs qui acheminent les commandes.



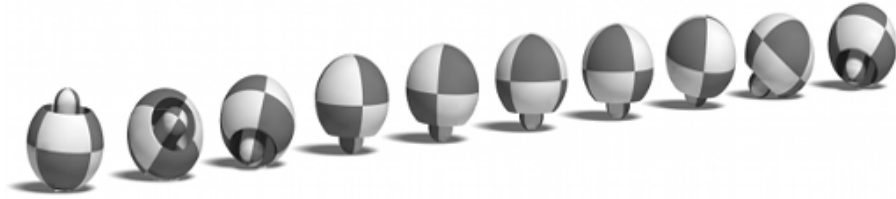
Contact : Sandra Ulrich Ngueveu, sandra.ulrich.ngueveu@laas.fr; équipe ROC



Pyrène en salle blanche

Événements scientifiques

Le 9^e symposium de l'ENNSD



L'European Network on Nonsmooth Dynamics (ENNSD) organise chaque année un symposium dont l'objectif est de regrouper les chercheurs travaillant dans le domaine de la dynamique non lisse et de créer une plateforme permettant à la communauté de faire avancer la recherche sur les sujets connexes.

En 2022, le 9^e symposium de l'ENNSD s'est tenu du 20 au 22 septembre au LAAS-CNRS sous la direction d'Aneel Tanwani (équipe MAC - Méthodes et algorithmes en commande). Cet événement a notamment été l'occasion de clôturer la fin de son projet ANR qui a duré 4 ans.

L'objectif du symposium organisé au LAAS-CNRS était de donner plus de visibilité aux chercheurs travaillant sur les thématiques des systèmes dynamiques et d'optimisation étudiées au sein du département DO - Décision et optimisation. Des orateurs experts mondiaux dans leur domaine de recherche, dont certains lauréats de prix prestigieux comme l'ERC, ont ainsi proposé leurs sujets au programme devant une quarantaine de participants.

Les objectifs du réseau européen pour la dynamique non lisse sont :

- fournir une plateforme de coopération pour les chercheurs spécialisés dans la dynamique non lisse,
- promouvoir la recherche axée sur la dynamique non lisse et ses applications,
- améliorer les activités de mise en réseau (université d'été, ateliers ou conférences),
- diffuser les connaissances de la communauté académique vers l'industrie.

La 6^e édition du Toulouse Hacking Convention

La *Toulouse Hacking Convention* (ou THCon) est une conférence sur la cybersécurité qui réunit amateurs, professionnels et chercheurs ! Depuis sa création en 2017, la THCon s'est tenue chaque année à Toulouse. Aujourd'hui, c'est un événement incontournable de la cybersécurité en Occitanie, et au-delà.

La 6^e édition a eu lieu les 14 et 15 avril à l'ENAC, coorganisée par l'équipe TSF - Tolérance aux fautes et sûreté de fonctionnement informatique et SARA - Services et architectures pour réseaux avancés du LAAS-CNRS dont Vincent Nicomette, Guillaume Auriol et Philippe Owezarski.

Les équipes du LAAS-CNRS ont également proposé des interventions portées sur la sécurité des objets connectés et l'intelligence artificielle lors de tables rondes et de conférences.



Le 33^e Workshop international sur les Principes du diagnostic - DX 2022



La 33^e édition de cet événement d'envergure internationale s'est déroulée du 14 au 16 septembre à Toulouse, organisée par des membres de l'équipe DISCO - Diagnostic, supervision et conduite du LAAS-CNRS dont Élodie Chanthery et Pauline Ribot.

Le diagnostic est un élément classique de la recherche en intelligence artificielle. L'objectif de l'atelier annuel DX est de réunir des chercheurs et des praticiens de divers horizons afin d'exploiter la recherche en matière de diagnostic, c'est-à-dire l'identification des causes profondes des dysfonctionnements rencontrés.

Depuis 1989, la série d'ateliers DX offre un forum pour présenter les rapports de recherche et d'expérience actuels, échanger et discuter des idées émergentes, ainsi que pour débattre des problèmes actuels et des défis futurs envisagés. Les sujets pertinents sont liés au diagnostic des défauts, à la surveillance, aux tests, au débogage, à la reconfiguration, au contrôle adaptatif aux défauts, à la récupération des défauts et à la réparation.



Diffusion de la culture scientifique

Fête de la science 2022

La journée portes ouvertes organisée le samedi 15 octobre dans le cadre de la Fête de la science a connu un franc succès ! Grâce à nos 97 personnes mobilisées, nous avons pu proposer au public venu nombreux un aperçu du spectre de nos recherches au travers des 14 démonstrations proposées au programme. Les 3 conférences sur l'énergie



solaire, les cyber-attaques et l'intelligence artificielle ont donné lieu à des échanges très enrichissants. Pour les jeunes de 7 à 77 ans, l'atelier d'initiation aux sciences du Parcours jeunes, animé par nos doctorant.e.s, n'a pas désempé.

Nous avons cumulé 814 visites dans la journée : un moment familial et convivial que nous avons eu le plaisir de revivre après 3 ans de pause !

Le jeudi 13 octobre était la journée consacrée aux scolaires, nous avons proposé aux 55 lycéens un parcours scientifique et technologique très apprécié par les élèves et les intervenants, qui a même suscité des envies de carrière.

La barre est haute, mais le laboratoire est prêt à relever le défi pour proposer l'année prochaine un programme aussi ambitieux que celui de cette année !



Et quelques témoignages :

« C'était génial, merci infiniment !! »

« Vraiment intéressant et ludique. Vive les sciences ! »

« Super belles démonstrations, merci ! »

« Merci pour l'accueil, vous avez des gens passionnés, ça se sent, c'est remarquable ! »

« Le Laas est vraiment un exemple que tant d'autres labos devraient suivre en termes d'ouverture au public. En ces temps où de plus en plus de gens se réclament de sciences « alternatives », il est essentiel d'ouvrir les labos et de montrer comment la science se fait et qui sont ces personnes qui consacrent leur vie à la faire progresser (souvent pour des salaires médiocres). Ce que propose le Laas est bien préparé et formulé pour un public très divers, et le labo est ouvert le week-end donc accessible au plus grand nombre. Bravo encore à eux et aussi à tous les autres labos ouverts en ce samedi... »

Contact : communication@laas.fr

Interview de Gilles Trédan dans le média, La contre-matinale #117 : l'élection approche, la guerre de l'information fait rage

Gilles Trédan, chercheur CNRS au sein de l'équipe TSF - Tolérance aux fautes et sûreté de fonctionnement informatique du LAAS-CNRS, aux côtés d'Erwan Le Merrer, chercheur à l'INRIA, a été invité le 29 mars par Théophile Kouamouo et Cemil Şanlı de l'émission Le Média pour discuter de l'algorithme YouTube et de son impact, très politique, sur la visibilité (ou non) des candidat.e.s à l'élection présidentielle.

En pleine élection présidentielle, les chercheurs ont démontré son fonctionnement pour mieux comprendre ce que font ces algorithmes et ainsi observer les relations entre les recommandations et les sondages d'intention de vote.

Une étude de Gilles Trédan du LAAS-CNRS en collaboration avec Erwan Le Merrer et Ali Yesilkanat de l'Inria publiée sur le journal *The conversation* et reprise par le blog Binaire du Monde.



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

Dossier spécial de l'Exploreur, média de l'université de Toulouse : « Voiture autonome : une IA au volant »

La voiture autonome est un exemple de robotique par excellence. Grâce à des algorithmes d'optimisation, elle peut par exemple éviter les routes encombrées. Son bon fonctionnement repose sur du *machine learning* qui lui apprend à identifier les images captées par ses caméras embarquées. La robustesse du système lui permet de reconnaître les signaux routiers, malgré l'agitation du paysage urbain ou des conditions météorologiques particulières. En cas d'imprévus ou d'accidents, la prise de décision de la voiture relève des problématiques d'éthique de l'IA.

Trois doctorants et post-doctorants de l'Institut interdisciplinaire d'intelligence artificielle de Toulouse (ANITI) nous embarquent à bord d'une voiture autonome pour comprendre cinq notions clés du fonctionnement de l'IA, présentées dans un dossier d'Exploreur de l'Université de Toulouse : Voiture autonome : une IA au volant.

Ewen Dantec, doctorant au sein de l'équipe GEPETTO - Mouvement des systèmes anthropomorphes du LAAS-CNRS, illustre deux de ces notions :



- Humain-robot : quelles interactions possibles ?

- La robustesse des robots : un sens de l'adaptation à toute épreuve ?



Contact : Ewen Dantec, ewen.dantec@laas.fr, équipe GEPETTO

Rachid Alami dans l'émission 18.30 de France 3 Occitanie consacrée aux robots : « Le monde d'après : des robots pour quoi faire ? »

Rachid Alami, chercheur CNRS au sein de l'équipe RIS - Robotique et interactions du LAAS-CNRS, a été invité mercredi 30 novembre sur France 3 Occitanie à l'émission 18.30 en direct : « Le monde d'après : des robots pour quoi faire ? ».

Au côté de Philippe Roussel, délégué général de *Robotics Place* et de Yann Ferguson, sociologue et enseignant à l'ICAM de Toulouse, il a participé au débat sur la place de la robotique dans le monde industriel.

En effet, 400 000 robots industriels sont installés chaque année dans le monde. C'est trois fois plus qu'il y a 10 ans. Le plan France 2030 prévoit d'investir 800 millions d'euros dans le secteur. Mais à quoi vont ressembler ces robots ? Et surtout à quoi vont-ils servir ? Vont-ils remplacer l'homme ou le soulager dans des tâches difficiles ou ingrates ? Peut-on leur faire confiance comme c'est déjà le cas en chirurgie par exemple ?

L'émission a ensuite diffusé un reportage, tourné dans nos locaux, sur nos équipes de recherche en robotique.



Contact : Rachid Alami, rachid.alami@laas.fr



Démonstration de robots aériens lors de la journée portes ouvertes de la Fête de la Science

La vie du laboratoire

55

Hackathon, journée d'inauguration du Fablab du LAAS-CNRS

Lundi 9 mai avait lieu le 1^{er} hackathon du LAAS-CNRS, journée d'inauguration du FabLAAS.

Le fablab, appelé FabLAAS, est une zone en libre-service à l'ensemble du personnel où des outils et des formations de prototypage rapide sont à disposition pour le développement des projets de recherche. Ce lieu se veut complémentaire aux services déjà disponibles au laboratoire comme l'atelier de mécanique, l'atelier d'électronique et le MultiFAB. Ainsi, on peut y trouver des équipements comme des outils de bricolage, des composants électronique et mécanique, de la soudure, une découpe laser et une imprimante 3D.



Plus de 50 personnes, tous métiers confondus, se sont réunies pour travailler ensemble sur un projet scientifique commun pendant une journée (la conception d'un pousse-seringue sans fil). L'objectif de cette journée était de découvrir le FabLAAS et notamment la façon dont ce lieu peut être utile dans la réalisation de prototypes avancés pour les activités de recherche des équipes et des services. Quatre groupes ont travaillé en parallèle sur la conception, la gestion de l'énergie, l'interface homme machine et la caractérisation de ce prototype de pousse-seringue avant une mise en commun en fin de journée. Ce premier hackathon fut une belle journée de convivialité et une grande réussite, à la fois pour la vie du FabLAAS et pour le projet scientifique.

Égalité Femme-Homme : après-midi de sensibilisation pour le personnel



Dans le cadre de l'égalité Femme-Homme au CNRS et sur l'impulsion des correspondant-e-s égalité du laboratoire, le LAAS-CNRS a accueilli la compagnie de théâtre Dé(s) amorce(s) le 17 octobre.

Une quarantaine de personnes en situation de responsabilité au sein du laboratoire ont été invitées à participer à une après-midi de sensibilisation sur la problématique des violences sexistes et sexuelles au travail autour d'une séance de Théâtre-Forum « Silences complices ? ».

Cadres scientifiques ou administratifs, représentants des doctorants et membres de la cellule égalité Femme-Homme ont ainsi pu se questionner sur les comportements de chacun sur la thématique au sein du collectif de travail. Cette action de sensibilisation a été financée par l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions (INS2I).



Le collectif pour l'environnement et le développement durable

Ecolaas s'est créé en mars 2020 en se donnant pour objectif de soutenir toute démarche favorisant le développement durable et de préservation de l'environnement au LAAS-CNRS.

Une des actions phares est de réaliser chaque année le bilan carbone du LAAS-CNRS, l'indicateur incontournable pour pouvoir diminuer l'impact environnemental de nos pratiques de recherche.

Les actions d'Ecolaas poursuivent des objectifs variés :

- soutien des mobilités douces avec la mise à disposition de vélos en libre-service et la venue régulière d'un réparateur de cycles,
- réduction de notre consommation papier et consommables avec la réorganisation du système d'impression,
- protection de la biodiversité avec la création d'une haie champêtre et le soutien au potager bio,
- sensibilisation pour une prise de conscience active...

D'autres actions plus ambitieuses en collaboration avec d'autres labos visent à diminuer notre consommation de plastique à usage unique dans les expérimentations ou à mieux recycler nos déchets. Les projets ne manquent pas et dynamisent le collectif.



Informatique

Automatique

Robotique

Micro/nanosciences

Directeur
Mohamed KAÂNICHE

Directeurs adjoints
Daniela DRAGOMIRESCU
Pierre LOPEZ
Pierre TEMPLE-BOYER



Santé / Environnement
Juan CORTÉS, Morgan DELARUE, Vincent RAIMBAULT

Industrie du Futur
Cyril BRIAND,
Patrick DANES

Energie
Corinne ALONSO,
Guilhem ALMINEAU

Transport / Mobilité
Eric ALATA, Patrick TOUNSI

Espace
Pascal BERTHOU
Olivier LLOPIS

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
- POP** Polynomial optimization
- ROC** Recherche opérationnelle, optimisation combinatoire et contraintes



- 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



- 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



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

CRÉDITS PHOTOS

Couverture	Plaque de silicium recouverte d'une couche de SiN, © Cécile Domenech
Sommaire	Panneaux photovoltaïques bâtiment Georges Giralt, © Anne Mauffret, LAAS-CNRS Structure ADN en résine déformable imprimée par stéréolithographie, © Frédéric Maligne/LAAS/CNRS Photothèque
Page 22	Portrait de Carole Rossi, © DR Portrait de Morgan Delarue, © Morgan Delarue
Page 23	Portrait de David Pech, © David Villa, Scienceimages, CBI Nicolas Mansard, lauréat de l'Étoile de l'Europe, © GEPET
Page 24	Alexandre Arnoult, © DR TO/LAAS-CNRS Portrait de Claude Baron, © DR
Page 25	Portrait de Kathleen Belhassein, © DR Aleksandra Marković, © MEMS/LAAS-CNRS
Page 26	Olivia Peytral-Rieu, © DR Inès Muguet aux J2N 2022, © DR
Page 27	Samer Alsamadi, © Samer Alsamadi Alexandre Gaffet à la conférence PHMe 2022, © DR
Page 28	Anne Calvel, 4 th World Congress on Electroporation, © DR
Page 29	Amas de cellules biologiques « collé » à des piliers souples micrométriques se dégonflant dans le vide du microscope électronique, Laurène Aoun, Christophe Vieu (Équipe NBS) et Benjamin Reig (Équipe TEAM), © DR
Page 35	Projet Memmo, © DR
Page 41	Pyrène, © DR
Page 42	Sandra Ngueveu, © Toulouse INP
Page 43	Pyrène en salle blanche, © LAAS-CNRS
Page 50	Fête de la science, © DR
Page 51	Interview de Gilles Trédan, © DR
Page 52	Interview de Rachid Alami, © DR
Page 53	Démonstration de robots aériens lors de la journée portes ouvertes de la Fête de la Science, © LAAS-CNRS
Page 56	Hackathon, journée d'inauguration du FabLAAS, © LAAS-CNRS Égalité Femme-Homme : Après-midi de sensibilisation pour le personnel, © LAAS-CNRS

LAAS-CNRS

Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes du CNRS
7 avenue du colonel Roche, BP 54200, 31031 Toulouse cedex 4 - France