



LES LABORATOIRES COMMUNS : DES RÉUSSITES QUI INSPIRENT

labcom

RÉUSSITE DES LABORATOIRES COMMUNS : UNE AFFAIRE DE PERSONNES ET DE CONFIANCE

Le CNRS vient de signer son 200ème laboratoire commun avec TotalEnergies. Quelle est la tendance autour de cette forme de partenariat et comment l'expliquez-vous ?

Jean-Luc Moullet : Ces dernières années, nous avons observé une augmentation du nombre de créations de laboratoires communs entre le CNRS et des entreprises de toute taille. Alors que le CNRS comptabilisait 22 nouvelles créations en 2016, 34 ont été signées en 2019. Aujourd'hui, nous créons donc en moyenne un laboratoire commun tous les quinze jours.

Cette tendance illustre le besoin d'ancrage des relations établies entre les industriels et le monde académique dans un cadre structurant et pérenne. Un laboratoire commun se traduit en effet par une feuille de route définie sur 5 ans en moyenne, qui fixe une ambition commune sur un thème scientifique dont l'importance est partagée. Il détermine également des moyens permettant de répondre à cette ambition. Enfin, cette forme de collaboration offre un cadre souple qui permet d'accommoder dans le temps différents projets se rapportant à ce thème scientifique et de les faire évoluer dans le cadre d'une gouvernance commune.

Un laboratoire commun est donc plus ambitieux et plus exigeant qu'un contrat de collaboration de recherche, ce qui explique aussi que sa création reste plus occasionnelle en comparaison du millier de collaborations de recherches signées tous les ans avec l'industrie. Cela renforce son caractère privilégié.

À première vue, il est difficile d'imaginer qu'un laboratoire commun, qui est la forme de recherche partenariale la plus intégrée, puisse correspondre à la fois aux exigences de partage de connaissance de la recherche publique et aux intérêts économiques des entreprises. Quelles sont les particularités de ces structures qui soutiennent leur réussite ?

JLM : Aucune collaboration ne commence directement par la création d'un laboratoire commun. Derrière ces structures, il y a avant tout un lien humain et des personnes qui veulent unir leurs efforts. Leur création fait souvent suite à plusieurs années de prestations scientifiques, de co-encadrements de thèses, de contrats de collaborations de recherche, etc. Le temps est donc un allié. Il permet à chaque partenaire de s'acculturer à l'autre et à ses besoins. La réussite des laboratoires communs se construit donc autour de personnes qui se connaissent, qui ont appris à s'estimer et ont bâti une relation de confiance.

Un laboratoire commun est construit sur une thématique, qui répond à la fois à des enjeux scientifiques ambitieux et clairs, mais aussi à des enjeux industriels de long terme. Le choix de cette thématique est donc crucial pour les deux parties, ce qui nécessite de bien comprendre les compétences existantes et les motivations de chacun. Les projets sont ensuite co-construits au sein du laboratoire commun et s'inscrivent naturellement

Forme de recherche partenariale privilégiée, les laboratoires communs ont su séduire petites, grandes et moyennes entreprises, aux besoins et aux moyens pourtant si variés. Comment expliquer cet engouement et la réussite de ces structures ? Jean-Luc Moullet, directeur général délégué à l'innovation du CNRS, nous livre son analyse sur ce qui fait la particularité des laboratoires communs et soutient leur pérennité.

dans cette thématique scientifique d'intérêt conjoint. Une fois en place, le mode de fonctionnement du laboratoire commun, garanti par une gouvernance, une stratégie et des moyens partagés, renforce cette proximité entre monde académique et monde industriel. L'ensemble permet de conduire une recherche de grande qualité, ce qui est tant apprécié qu'attendu de la part de nos partenaires industriels. Albert Fert en est un très bon exemple puisqu'il a remporté le Prix Nobel de physique en 2007 pour sa contribution à la spintronique, alors qu'il travaillait dans un laboratoire commun entre le CNRS et Thales.

Au-delà de cette reconnaissance, exceptionnelle s'il en est, l'intérêt des laboratoires communs est bien entendu de faciliter le transfert des résultats de recherche vers l'industrie. La proximité entre le monde académique et le monde industriel joue, ici, un rôle de catalyseur. Les résultats de recherche, qui répondent à ces orientations déterminées en amont et conjointement avec nos partenaires industriels, vont ensuite apporter une valeur ajoutée directe au cycle de développement des produits des entreprises. Certains en rupture, et d'autres plus incrémentaux. Ces résultats de recherche vont venir se fondre à un ensemble d'innovations provenant de l'entreprise. C'est aussi cela la recherche partenariale : apporter une brique à l'édifice pour aboutir à des produits hybrides nés d'expertises aussi bien académiques qu'industrielles.

Quelles sont les ambitions du CNRS quant à l'avenir des laboratoires communs ?

JLM : Notre ambition globale est d'abord de répondre aux besoins scientifiques exprimés par nos partenaires industriels. Si la forme du laboratoire commun est une réponse adaptée à ces besoins, ce que l'on pense, alors notre objectif est double : il s'agit, en premier lieu, de pérenniser nos partenariats actuels. De ce point de vue, le renouvellement des laboratoires communs qui arrivent à terme est un très bon indicateur de satisfaction des entreprises. Il n'est pas exclusif car un laboratoire commun doit aussi pouvoir s'arrêter, notamment lorsque la thématique poursuivie a été suffisamment explorée. Nous sommes particulièrement heureux de constater que certains laboratoires communs existent depuis plus de 20 ans.

Au-delà, notre objectif de moyen terme est de doubler le nombre de laboratoires communs en activité, d'abord en approfondissant les liens avec nos partenaires actuels, mais aussi en développant des relations toujours croissantes avec de nouveaux partenaires industriels. C'est la mission qui est confiée à la Direction des relations avec les entreprises, qui à partir d'une stratégie fondée sur l'approche des filières industrielles, explore de nouvelles opportunités de partenariat avec les entreprises.

**Jean-Luc Moullet,
directeur général délégué à l'innovation**

TABLE DES MATIÈRES

Des aciers high-tech avec Manoir Industries	8
Leaders des lasers femtosecondes avec Amplitude Laser Group	10
Trois décennies à maintenir, avec ALTAIR, le logiciel Flux dans le top 3 mondial	12
Bientôt 10 ans de collaboration sur la sécurité incendie avec le groupe Poujolat	14
Safran Ceramics : plus de trente ans de collaboration et de nombreuses réussites	16
Alliés pour la qualité de l'air intérieur et extérieur avec EDF	18
Amener l'impression de biomolécules à l'échelle micrométrique et nanométrique à la portée de tous les laboratoires de biologie avec Innopsys	20
Perkin Elmer/Cisbio Bioassays : cibler des récepteurs impliqués dans de nombreuses maladies	22
Modéliser les profondeurs pour un stockage plus sûr des déchets radioactifs avec Itasca Consultants SAS	24
Au service de la reproduction assistée avec IMV Technologies	26
Vers de nouveaux appareils de radioprotection avec Carmelec	28
Mettre l'IA au service de l'éducation avec Learn&Go	30
Avec Pierre Fabre: une étude de la signature biologique de l'eau thermale d'Avène	32
À la pointe des capteurs solaires thermiques avec Viessmann Faulquemont SAS	34
Mettre au point de nouvelles techniques de modélisation pour les polymères avec Michelin	36
Unis avec Renault pour des véhicules autonomes	38
Innover dans les matériaux optiques et la nanostructuration de surface avec Safran Electronics & Defense	40

DES ACIERS HIGH-TECH AVEC MANOIR INDUSTRIES

Depuis 2016, le CNRS, l'Université de Rouen Normandie, l'INSA Rouen, Normandie Université et l'entreprise Manoir Industries développent, étudient et perfectionnent à travers leur laboratoire commun de recherche Innovation and performance of refractory steels (IPERS), des aciers nouvelle génération. Leur résistance en fait d'excellents matériaux pour construire des fours supportant des conditions extrêmes, utilisés notamment dans les domaines de la pétrochimie et du nucléaire. Les travaux de recherche menés ont déjà permis aux partenaires de mettre sur le marché un alliage inédit particulièrement compétitif.

Manipuler des produits hautement corrosifs à des températures supérieures à 1200 degrés représente un défi majeur pour l'industrie lourde. Le groupe Manoir Industries, spécialisé dans la transformation des métaux, tient la troisième place mondiale concernant la fabrication de tubes en aciers inoxydables high-tech. Ces matériaux de pointe servent par exemple à construire des fours pour l'industrie pétrochimique, et sont prisés dans le nucléaire. Ces aciers à haute valeur ajoutée connaissent depuis une vingtaine d'années une importante révolution : les alliages à forte teneur en nickel et en chrome sont progressivement remplacés par des mélanges incluant également un haut taux d'aluminium.

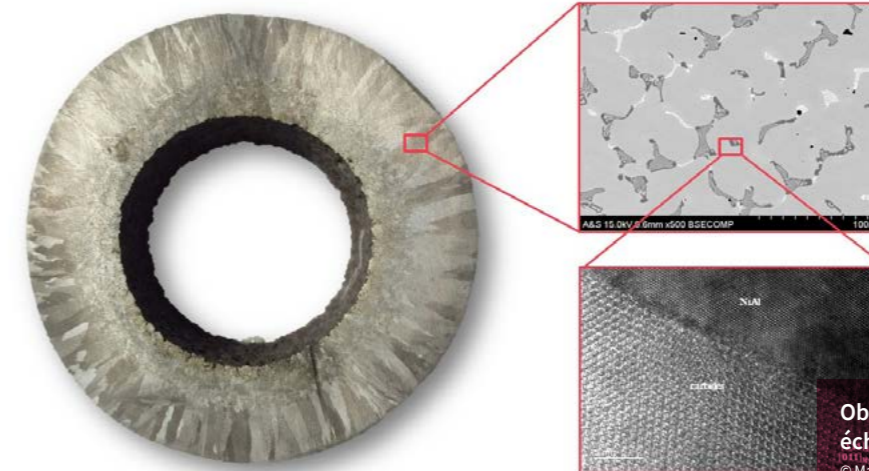
Pour accompagner cette transition, la fonderie de Manoir Pîtres, basée en Normandie, s'est rapproché du Groupe de physique des matériaux (GPM), laboratoire sous la tutelle du CNRS, de l'Université de Rouen Normandie, de l'INSA Rouen et de Normandie Université, dans le but de mutualiser leurs recherches dans ce domaine. Leur culture commune de la métallurgie et leur proximité géographique ainsi que la présence d'anciens doctorants du laboratoire au sein de Manoir Pîtres en font un effet des collaborateurs de choix. Inauguré en février 2016, le laboratoire commun IPERS bénéficie d'un financement de l'Agence nationale de la recherche (ANR).

Manoir Pîtres produit principalement ces aciers à destination de clients pratiquant le vapocraquage, un procédé qui extrait des hydrocarbures à haute valeur ajoutée de matériaux bruts. Dans ce cadre, ces alliages doivent résister entre cinq et dix ans à l'encrassement et à la déformation induite par la chaleur. Les recherches menées par les partenaires s'articulent de ce fait autour de trois grands thèmes : la résistance mécanique à haute température, celle à la corrosion et le suivi du vieillissement des matériaux. Les équipes décident de la composition de coulées d'alliages à l'usine, et en étudient ensuite les performances et le vieillissement au sein du laboratoire commun, avec une résolution atteignant l'échelle de l'atome, grâce à la plateforme de microscopie dont dispose le GPM. Cette collaboration permet de développer de nouveaux alliages métalliques à hautes performances.



Fabrication des tubes en acier.

© Manoir Industries



Observation des tubes en acier à différentes échelles.

© Manoir Industries

Ces problématiques ont donné lieu à plusieurs contrats de recherche, dont l'un a abouti au dépôt d'un brevet portant sur un nouvel alliage à base de nickel, de chrome et d'aluminium. Plus résistant, il permet aussi des économies d'énergie, ce qui le rend attractif au niveau international. Manoir Industries le commercialise depuis 2017 sous le nom de Manaurite® XAl4, qui présente les meilleures performances de sa gamme au niveau de l'oxydation, de la carburation, du cokage¹ et du fluage² à très haute température, ce qui augmente la durée de vie des matériaux et simplifie leur maintenance.

Le Groupe de physique des matériaux et Manoir Pîtres (filiale de Manoir Industries) ont développé de nouveaux alliages métalliques à haute performance grâce au laboratoire commun de recherche IPERS. Cette collaboration a abouti à l'invention et à la commercialisation de l'alliage Manaurite® XAl4, dont les ventes représentent à présent un tiers des tubes de vapocraquage de l'entreprise.

« Nous vendions la Manaurite® XAl4 à la marge en 2017, mais cet alliage représente cette année un tiers de notre production de tubes pour le vapocraquage, s'enthousiasme Manuel Roussel, responsable R&D de la métallurgie à destination des industries pétrochimiques et nucléaires chez Manoir Pîtres. Ce n'est plus un prototype, mais bien un produit dont nous industrialisons la production et qui performe très bien. »

Forts des bénéfices que leur apporte le partage de leurs compétences, les collaborateurs d'IPERS poursuivent à présent leurs travaux de recherche vers de nouveaux produits et solutions. Une thèse en cours porte sur la détection de l'usure et du vieillissement des alliages sur site, directement sur des fours en activité chez les clients.

¹ Formation d'un dépôt de coke qui altère les performances

² Déformation progressive, ici due à la chaleur

LEADERS DES LASERS FEMTOSECONDES AVEC AMPLITUDE LASER GROUP

Dans la course aux lasers aux impulsions toujours plus brèves et puissantes, les lasers femtosecondes se sont taillé la part du lion. Amplitude Laser Group et le laboratoire Charles Fabry, sous la tutelle du CNRS et de l'Institut d'Optique Graduate School, ont transformé en 2011 leur collaboration de longue date en un laboratoire commun de recherche, DEFI, qui a permis le dépôt de quatre brevets et du produit Compress.

Le domaine de l'optique est bouleversé depuis une quinzaine d'années par l'apparition des lasers femtosecondes. Ces appareils de très hautes technologies émettent des impulsions dont la durée se compte en milliardièmes de milliardième de seconde. Ils représentent à présent plus de la moitié des ventes de lasers ultra-courts sur le marché industriel. Leurs applications sont multiples et couvrent un large spectre, aussi bien scientifique qu'industriel. En particulier, les lasers femtosecondes sont très utilisés pour la découpe de matériaux fragiles et précieux. Ils sont ainsi nécessaires à la conception des écrans OLED. Un autre débouché concerne le domaine biomédical, avec la chirurgie de la cataracte.

Avec des produits commercialisés dans plus de quarante pays, Amplitude Laser Group compte parmi les spécialistes de la fabrication de lasers ultrarapides à destination d'applications médicales, scientifiques et industrielles. L'entreprise s'est tournée en 2006 vers le laboratoire Charles Fabry, pionnier dans le domaine des lasers femtosecondes. L'association s'est faite naturellement, d'abord par le biais de contrats de recherche avant d'être pérennisée en 2011 par la création du laboratoire commun recherche DEFI : Développement Femtoseconde et Innovation. Amplitude Laser Group est à présent le leader mondial de la fabrication de lasers femtosecondes.

DEFI explore des architectures innovantes pour les lasers femtosecondes afin d'en améliorer les trois caractéristiques principales : la puissance moyenne, l'énergie et la durée des impulsions. L'objectif étant

d'augmenter les deux premières et de réduire la durée, ce qui rend les lasers plus compétitifs et ouvre de nouveaux marchés. Ces améliorations passent, entre autres, par la conception de nouveaux cristaux et de fibres optiques dopées avec des métaux appelés terres rares, en particulier l'ytterbium. La conception de modules complémentaires aux lasers permet aussi d'en améliorer les caractéristiques. Plusieurs travaux de recherche ont ainsi été menés dans le cadre de DEFI, ils ont abouti à la publication de quarante-cinq articles scientifiques et au dépôt de quatre brevets.

Récemment, les équipes de DEFI ont travaillé sur la réduction de la durée temporelle des impulsions lasers. Cette durée est limitée pour les lasers ytterbium à quelques centaines de femtoseconde. Or, des applications émergentes industrielles et scientifiques nécessitent la production d'impulsions beaucoup plus courtes. Après plusieurs années de travail, les

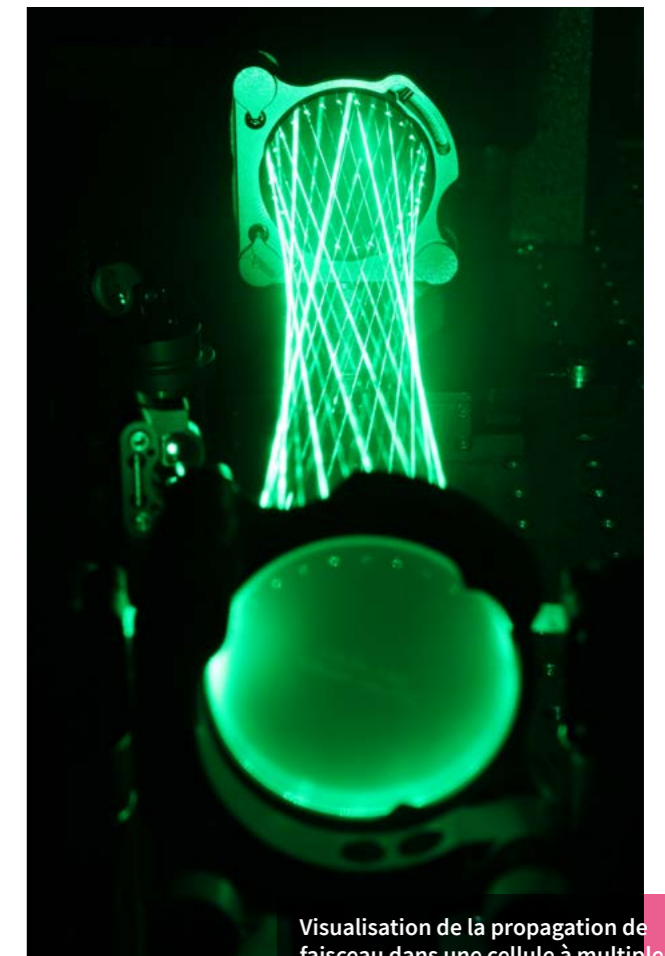


Compress
© courtesy of Amplitude Laser Group.

équipes ont développé une technique innovante de compression temporelle non linéaire extrêmement efficace. Ce programme de recherche a débouché sur la conception par Amplitude de Compress, commercialisé depuis 2020. Ce module, compatible avec toute leur gamme de lasers femtosecondes, réduit la durée des impulsions jusqu'à des durées inférieures à dix femtosecondes tout en préservant la puissance moyenne et l'énergie des impulsions d'une manière exceptionnelle. « Nous avons déjà produit plusieurs systèmes Compress, que nous considérons comme un produit stratégique, détaille Clemens Hoenninger, vice-président et directeur de la R&D chez Amplitude Laser Group. Les travaux du laboratoire commun de recherche ont accéléré le développement de nouvelles briques technologiques, qui nous permettront à terme de mettre davantage de produits sur le marché, en plus de Compress. » La conception de Compress a valu à Yoann Zaouter, ingénieur R&D au sein de DEFI et responsable de ligne de production chez Amplitude Laser Group, d'obtenir en 2020 le prix Jean Jerphagnon, décerné par l'Institut Mines-Télécom et l'académie des technologies à de jeunes chercheurs en optique.

DEFI s'intéresse à présent également à la génération d'harmoniques d'ordres élevés, méthode d'optique non linéaire extrême qui permet l'émission d'un rayonnement laser cohérent sur une large plage spectrale couvrant l'UV jusqu'au rayon X mou. Les propriétés

Le laboratoire Charles Fabry et Amplitude Laser Group ont choisi d'unir leurs expertises au sein du laboratoire commun DEFI. Cette structure vise à développer des sources et techniques innovantes pour les lasers femtosecondes, contribuant à faire d'Amplitude Laser Group le numéro un mondial de cette nouvelle génération de lasers.



Visualisation de la propagation de faisceau dans une cellule à multiples passages.

© Courtesy of Institut d'optique Graduate School

optiques uniques de ces sources lasers sont très prisées dans la recherche, car elles permettent l'analyse de matériaux complexes avec une résolution temporelle de l'ordre de la femtoseconde tout en réduisant les temps d'acquisition jusqu'à un facteur cent par rapport à la précédente génération de source laser. De quoi donner encore plus d'avance à Amplitude Laser Group dans sa position de leader des lasers femtosecondes !

TROIS DÉCENNIES À MAINTENIR, AVEC ALTAIR, LE LOGICIEL FLUX DANS LE TOP 3 MONDIAL

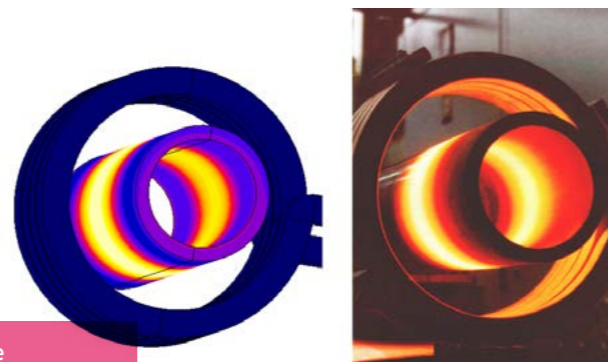
La longue coopération entre le Laboratoire de génie électrique de Grenoble (G2Elab), sous la tutelle du CNRS et de l'université Grenoble Alpes, et ALTAIR Engineering a pris un nouveau tournant en 2017 avec l'ouverture du laboratoire commun de recherche. En ligne de mire, poursuivre l'amélioration de la suite logicielle Flux, utilisée par plus de 700 entreprises, en particulier dans le domaine de l'automobile et de l'aéronautique, pour simuler des champs magnétiques et optimiser la conception de toutes sortes d'appareils électriques.

Forts de 40 ans de collaboration, le laboratoire G2Elab et l'entreprise ALTAIR Engineering prouvent la solidité des liens qui peuvent se tisser entre recherche et industrie. Ils perfectionnent et enrichissent le logiciel Flux, qui calcule et simule les champs électromagnétiques et thermiques présents dans les machines et objets électriques, allant du simple composant au système électronique complet d'une voiture. Cela permet de concevoir de tels produits avec un meilleur rendement énergétique, un poids réduit et une utilisation optimisée des matières premières telles que les aimants, tout en maintenant un haut niveau de performance.

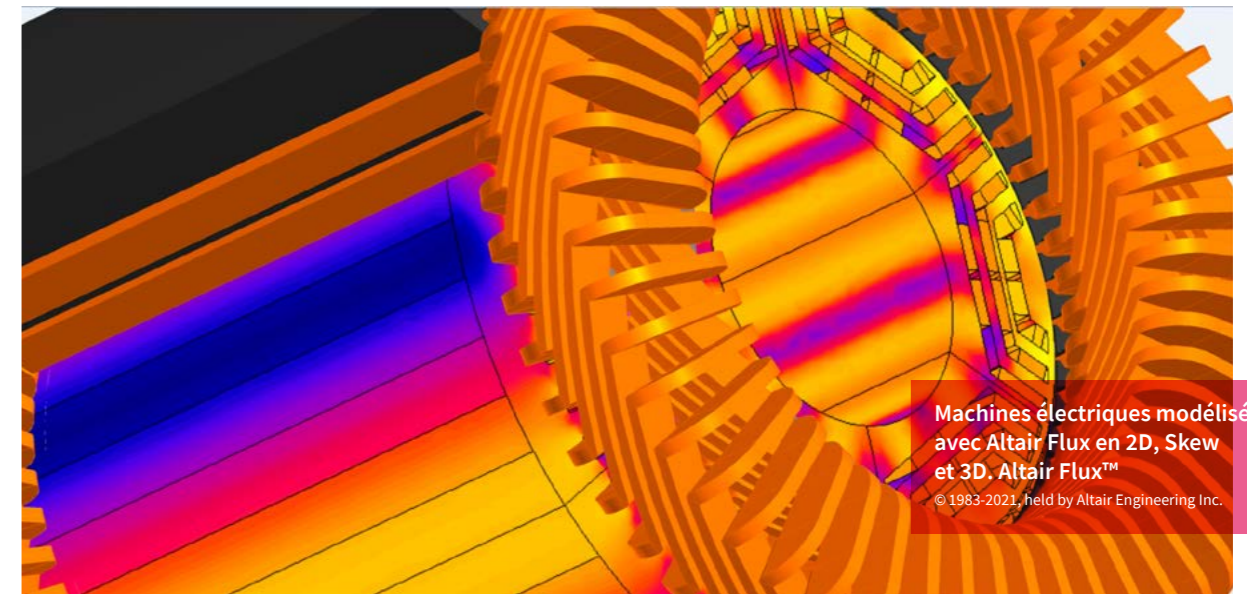
Cette coopération a commencé dans les années 80, au Laboratoire d'Electrotechnique de Grenoble, devenu depuis G2Elab, où une première version du logiciel Flux a été développée. Elle servait notamment à préparer la fabrication d'actionneurs et à modéliser le chauffage par induction, et était utilisée par des clients tels qu'EDF ou Télémécanique. Une seconde version a été conçue dans les années 90, les utilisateurs disposèrent ainsi de plusieurs méthodes différentes en fonction de leurs besoins avec en particulier la possibilité de modéliser des dispositifs en trois dimensions. Ces dernières années, les nouveautés ont surtout permis l'optimisation des calculs 3D afin d'aller plus vite, tout en maintenant une précision optimale.

Ces améliorations portées par l'équipe MAGE¹ du G2Elab, qui maintient Flux à la pointe de l'innovation, ont permis un débouché particulièrement important dans l'industrie automobile, auprès d'entreprises comme Mercedes-AMG ou Jaguar Land Rover, pour répondre à la fois aux problématiques du développement de l'électronique embarquée et de la traction électrique. Le logiciel, qui fait partie des trois meilleures solutions du monde sur son créneau, est utilisé ainsi par plus de 700 firmes dans des domaines variés tels que l'aéronautique, l'automobile ou l'énergie.

La collaboration entre le G2Elab et ALTAIR Engineering a pris, en 2017, la forme d'un laboratoire commun de recherche géré au niveau académique par le CNRS, l'université Grenoble Alpes et Grenoble INP. Deux grands thèmes y sont développés ; d'abord, l'augmentation de la capacité de Flux à modéliser des phé-



Simulation du processus de chauffage par induction. Altair Flux™
© 1983-2021, held by Altair Engineering Inc.



Machines électriques modélisées avec Altair Flux en 2D, Skew et 3D. Altair Flux™
© 1983-2021, held by Altair Engineering Inc.

mènes physiques toujours plus complexes, grâce à de nouvelles équations décrivant plus précisément les phénomènes électromagnétiques. Ensuite, l'amélioration des performances du logiciel grâce à des algorithmes s'exécutant en parallèle.

« Pour établir nos sujets de recherche, un comité de pilotage se réunit tous les six mois, explique Vincent

Leconte, directeur du développement du business international et des solutions électromécaniques chez ALTAIR Engineering.. Nous fixons ainsi la feuille de route pour les deux ou trois ans à venir, tout en ajustant nos travaux en fonction de réels intérêts communs entre ALTAIR et le G2Elab. Nos équipes peuvent aussi bien se consacrer à des phases de recherche que venir modifier directement le code de nos logiciels. »

Associés depuis plus de 40 ans, le Laboratoire de génie électrique de Grenoble et ALTAIR Engineering poursuivent le développement du logiciel Flux, qui modélise les champs électromagnétiques pour améliorer les appareils électriques. Les travaux les plus récents visent à augmenter la précision et la vitesse des algorithmes du logiciel. Avec plus de 700 entreprises clientes, Flux est particulièrement prisé par le secteur automobile pour accompagner l'électrification des véhicules.

Cette collaboration a également servi au développement de FluxMotor, un autre logiciel commercialisé par ALTAIR Engineering. Né il y a cinq ans, ce programme basé sur Flux permet lui aussi de concevoir des machines électriques, mais offre une utilisation plus simple. Les chercheurs du G2Elab ont en particulier aidé à construire l'architecture du logiciel. 40 ans après la naissance de Flux, les équipes continuent ainsi de porter la suite logicielle au sommet des performances et de la compétitivité.

1 Modèles, méthodes et méthodologies appliqués au génie électrique

BIENTÔT 10 ANS DE COLLABORATION SUR LA SÉCURITÉ INCENDIE AVEC LE GROUPE POUJOLAT

Le CNRS et le groupe Pujoulat, leader européen des conduits de cheminée et sorties de toit en inox, se sont associés en 2012 pour travailler sur l'un des dispositifs d'isolation mis au point par l'industriel. Depuis presque 10 ans, ce système connaît un grand succès commercial et tous les conduits vendus par le groupe en sont équipés. Les deux entités ont depuis poursuivi et structuré leur partenariat qui a conduit à la création d'un laboratoire commun sur des thématiques de recherche concernant la sécurité incendie.

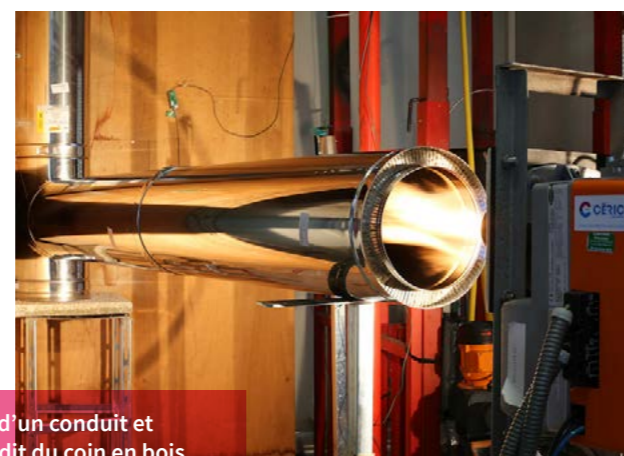
En 2008, le laboratoire de Pujoulat CERIC (Centre Essais Recherches des Industries de la Cheminée) se lance dans l'étude d'une nouvelle solution pour la traversée des parois isolées et étanches. Le groupe souhaite en effet anticiper une nouvelle obligation réglementaire prévue en 2012 dans la réglementation thermique en créant un système isolant autour des conduits de cheminée destiné à limiter les déperditions d'air et de chaleur. Il développe pour cela le système Coqisol, un dispositif à installer autour du conduit métallique garantissant étanchéité et isolation des parois traversées. Des essais sont réalisés pour valider le concept et plusieurs brevets sont déposés.

En parallèle, Pujoulat prend contact avec l'Institut P', laboratoire CNRS spécialisé dans les domaines des Sciences Physiques et des Sciences de l'Ingénierie. Le groupe désire approfondir le développement de son produit et disposer d'informations complémentaires à l'échelle de la matière, notamment sur le comportement de la laine de roche (principal composant permettant l'isolation) sous l'effet de la chaleur.

Très vite, l'équipe Combustion Hétérogène et Milieux Poreux du laboratoire P' se rend compte qu'il est nécessaire de comprendre la réaction à la chaleur et au feu des isolants, notamment des laines de roche, et

développe un banc d'essai pour caractériser les isolants les plus efficaces. L'étanchéité du produit est également éprouvée à travers des tests sur la variété de modèles de joints en silicones utilisés. Au total, ce sont plus d'une cinquantaine d'essais par matériaux qui sont réalisés au sein du laboratoire.

Les résultats ont confirmé la bonne tenue à la température du dispositif, qui est commercialisé pour des premiers essais sur le terrain dès 2009. Plus de 150 000 systèmes Coqisol, produits dans deux usines Pujoulat, ont été vendus depuis cette période. Commercialisé dans toute l'Europe, le dispositif est rattaché à une dizaine de gammes de conduits en France et à l'international et a permis au groupe de se positionner stratégiquement face à l'évolution du marché à travers les normes européennes.



Essai de tenue au feu d'un conduit et d'échauffement. Test dit du coin en bois.

© Laboratoire CERIC, POUJOLAT SA.

Face au succès de cette première coopération, les deux partenaires ont souhaité continuer de collaborer et mener des recherches sur l'inflammation des dépôts dans les conduits de cheminée. Partant du constat que la nature et la qualité du bois-combustible influencent les risques de feu de cheminée, les travaux conduits ont permis notamment de développer une cartographie des propriétés des dépôts prélevés dans les conduits de cheminée, comprenant une classification selon les risques d'inflammation.

Ces résultats permettent de renforcer et de pérenniser leurs travaux communs. Le CNRS, l'université de Poitiers et Pujoulat ont alors créé le laboratoire commun Optifum, soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR). Représentant l'une des formes de collaboration les plus abouties entre le CNRS et ses partenaires économiques, le laboratoire commun permet le partage des moyens expérimentaux et des compétences. Au cas d'espèce, le laboratoire commun est destiné à optimiser des conduits de fumée en situation d'incendie et à mieux comprendre les phénomènes de dépôts et de feu de cheminée. Il s'appuie sur la cartographie élaborée à ce sujet et vise la mise au point de modèles numériques, qui faciliteront ensuite le développement de produits innovants.

L'Institut P' et le groupe Pujoulat ont formé le laboratoire commun Optifum. Cette collaboration vise à améliorer le système Coqisol, conçu par Pujoulat afin de réduire les pertes d'air et de chaleur dans les conduits de cheminée. Ces travaux se sont ensuite élargis à diverses questions autour de l'étanchéité et de la sécurité de ces conduits. Plus de 150 000 systèmes Coqisol ont été vendus depuis le début du laboratoire commun.



Essai à échelle intermédiaire de la combustion d'un dépôt de lignite eu sein d'un conduit de cheminée.

© Institut P'.

Cette collaboration permet, depuis bientôt 10 ans, un partage des expertises et compétences des deux entités, et mène au développement des produits de demain. L'exemple de Coqisol, produit développé conjointement et aujourd'hui référence dans son domaine, illustre l'importance de mêler recherche et industrie dans le domaine de la R&D ainsi que l'impact économique qui découle des relations fortes entre le CNRS et ses partenaires.

SAFRAN CERAMICS : PLUS DE TRENTE ANS DE COLLABORATION ET DE NOMBREUSES RÉUSSITES

Créé en 1989, le Laboratoire des Composites Thermo Structuraux (LCTS) représente l'une des plus anciennes structures communes de recherche entre le CNRS et une entreprise. Depuis plus de trente ans, les recherches effectuées dans ce laboratoire géré en cotutelle par le CNRS, l'université de Bordeaux, le CEA et Safran Ceramics (filiale du groupe Safran), permettent d'aboutir à de nombreux résultats appliqués de manière concrète dans le monde industriel pour Safran Ceramics et au profit de la défense pour le CEA. Six ingénieurs issus de Safran et trois chercheurs du CEA y sont d'ailleurs mis à disposition de manière permanente afin de travailler au plus près des chercheurs issus du monde académique.

Nous sommes en 1988 quand la Société Européenne de Propulsion (SEP, aujourd'hui Safran) se rapproche de Roger Naslain, chimiste réputé à l'Université de Bordeaux, avec le souhait d'intensifier ses liens avec la recherche académique en mutualisant leurs ressources. De cette demande novatrice résulte le LCTS, partenariat structuré sous la forme d'une UMR (Unité Mixte de Recherche). Label d'excellence, la collaboration dans le cadre d'une UMR se caractérise par un engagement de long terme pris par les partenaires pour travailler ensemble et partager leurs moyens de recherche sur une thématique commune. Seconde unité mixte de recherche du CNRS créée en cotutelle avec un partenaire industriel, le LCTS représente désormais sa plus ancienne UMR. Sa gouvernance particulière, très originale à sa création et qui a été élargie en 1998 au CEA, lui donne les missions de faire progresser la connaissance, de former par et à la recherche, et de répondre aux besoins de l'industrie.

Ces structures de collaboration comportent de nombreuses forces. Elles sont interconnectées aux appareils de recherche de chacune des tutelles, dont elles sont un élément constitutif à part entière. Cette capacité d'assimilation est sans conteste l'un des avantages les plus importants. Elles permettent également une grande fluidité dans la continuité des travaux de recherche grâce à une proximité entre industriel et chercheur, renforcée par le recrutement, par les partenaires industriels de nombreux jeunes chercheurs formés au sein de l'UMR. Les scientifiques concentrent ainsi leurs travaux sur les mêmes enjeux que ceux rencontrés par l'entreprise, ce qui permet le développement rapide de la recherche. C'est dans cette optique que le LCTS, laboratoire multidisciplinaire, a été construit pour fédérer des compétences variées et complémentaires en chimie, ingénierie ou modélisation, lui permettant de répondre aux questions scientifiques posées par la synthèse, la structure

et les propriétés de matériaux composites carbonés et céramiques soumis à des conditions sévères de service et former les futurs spécialistes de ce domaine.

Des avancées considérables sur les freins C/C

Cette multidisciplinarité a permis au LCTS de jouer un rôle important dans le développement des freins Carbone/Carbone (C/C). La SEP, qui travaillait dans les années 80 sur la propulsion spatiale, élaborait des matériaux légers et résistants à de très hauts flux de chaleur, les températures pouvant monter jusqu'à 3000 °C sur certaines parties d'une fusée. Les propriétés intéressantes du matériau C/C, utilisé dans ce cadre, ont poussé l'entreprise à s'interroger sur son application à d'autres secteurs d'activité. Le LCTS a donc été missionné pour l'améliorer. Ses recherches ont participé à l'élargissement des activités de la SEP, puisqu'elles ont notamment porté sur des disques de frein de cette composition à destination des avions. Ces études ont permis l'augmentation des performances de ces derniers, en réduisant significativement leur usure et oxydation, et ont abouti à plusieurs brevets dans les années 1990.

Les procédés et matériaux qui ont été mis en place sont encore utilisés aujourd'hui. Ils ont permis à Safran de passer à une dimension industrielle dans ce domaine,



Test mécanique à haute température avec atmosphère contrôlée sur matériau composite à matrice céramique.

© G. L. Vignoles, B. Humez, LCTS - CNRS/U. Bordeaux/CEA/Safran

avec la production de plusieurs centaines de tonnes de disques de frein par an. Le groupe est leader mondial dans le domaine du freinage aéronautique, en s'appuyant sur des virages technologiques réguliers mis au point au LCTS. Ce succès est dû à cette facilité d'interaction entre les partenaires ; les chercheurs du laboratoire participent à la mise au point des procédés et des matériaux, et Safran s'occupe ensuite des campagnes de test, de la mise à l'échelle, de l'industrialisation avant de commercialiser les produits.

Plusieurs compétences mutualisées dans une recherche à la portée mondiale

Autre bel exemple de la collaboration entre Safran et le CNRS, le travail sur les composites céramiques, nés au LCTS après la demande de l'industriel de développer un équivalent inoxydable du Carbone/Carbone. Ces recherches s'inscrivent dans la continuité des avancées faites au LCTS, car il est question de réussir à introduire dans les turbines des moteurs d'avions des matériaux composites, comme cela a été le cas pour les freins C/C. L'objectif de ce travail est de rendre les pièces plus résistantes à la chaleur sans les alourdir, et rendre ainsi la céramique plus tenace avant qu'elle ne soit utilisée dans le domaine industriel.

L'enjeu est énorme, car ces nouveaux moteurs seraient bien plus performants que les actuels. Le gain pourrait ainsi aller jusqu'à 6 millions de dollars en kérosène par an et par avion. Aujourd'hui, grâce aux recherches issues du LCTS, Safran a déjà lancé des expérimentations sur les turbines d'un banc d'essai. Le groupe a par ailleurs été le premier

Le Laboratoire des composites thermo structuraux (LCTS) est né d'une cotutelle entre le CNRS, l'université de Bordeaux, Safran Ceramics (filiale du groupe Safran) et le CEA. Les chercheurs y conçoivent des matériaux composites carbonés et céramiques, adaptés aux exigences du monde la défense. 800 salariés, répartis dans cinq usines, travaillent directement avec les technologies mises au point au LCTS.

au monde à introduire une pièce en composite céramique dans un moteur d'avion (celui du Rafale), et la technologie des composites céramiques inventée au LCTS équipe déjà le moteur Vinci du futur lanceur Ariane 6.

Aujourd'hui, plus de trente ans après la création de cette UMR, les relations pérennes établies entre les partenaires permettent aux résultats de recherche d'engendrer des avancées technologiques qui se traduisent, pour Safran, par un impact direct dans les lignes de production : environ 800 salariés du groupe travaillent directement avec les technologies mises au point au LCTS, et 5 usines sont impliquées dans le processus de fabrication de matériaux en composites C/C et composites céramiques. Les matériaux composites intéressent également le CEA, notamment au profit des applications de la Défense nationale. Ces applications motivent des recherches fondamentales menées au LCTS sur les procédés d'élaboration, le comportement et les modélisations associées. Ces liens forts tissés au sein du LCTS démontrent tout l'intérêt des structures de recherche partenariales. Une invention succède à une autre, dans un cycle vertueux qui résulte de la proximité entre chercheurs et acteurs économiques.



Tuyère prototype d'hélicoptère en composite céramique.

© François Laforêt/EquivoX/Safran Ceramics

ALLIÉ POUR LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR ET EXTÉRIEUR AVEC EDF

La qualité de l'air est un sujet qui s'aborde de différentes manières. Afin d'en couvrir le plus possible, EDF et le Laboratoire des sciences de l'ingénieur pour l'environnement (LaSIE), sous la tutelle du CNRS et de La Rochelle Université, ont fondé le laboratoire commun 4evLab. Les travaux qui y sont menés touchent à la conception de nouveaux capteurs, à la modélisation des propriétés énergétiques d'un bâtiment ou du test grandeur nature à l'échelle de façades d'immeubles.

La qualité de l'air, intérieur comme extérieur, est un paramètre qui gagne en importance en cette période de défis environnementaux et sanitaires. Après avoir identifié des verrous scientifiques communs à lever sur la question, EDF et le LaSIE ont créé en 2016 le laboratoire commun Efficacité énergétique et environnementale de l'enveloppe et des villes (4evLab). Les chercheurs y étudient des moyens d'améliorer l'efficacité environnementale des bâtiments et des villes à travers de grandes thématiques telles que la qualité de l'air intérieur, la maîtrise de l'humidité ou les dépenses énergétiques à l'échelle des villes.

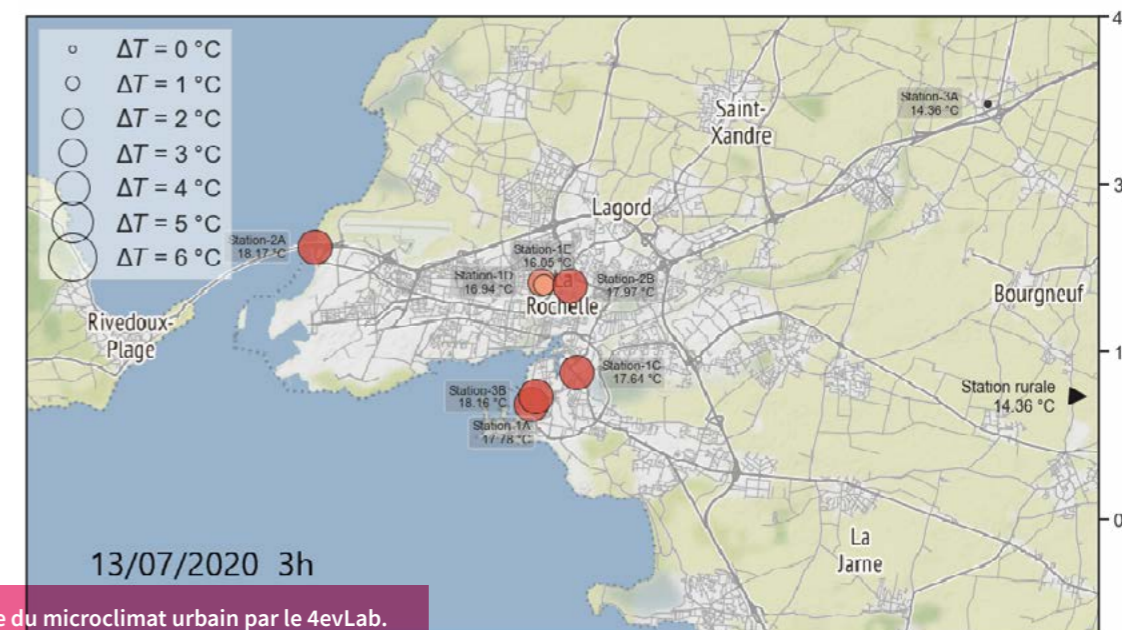
Des travaux ont ainsi été menés au 4evLab sur la compréhension du comportement des matériaux de construction poreux, pour mieux gérer les échanges de chaleur et d'humidité notamment dans le cadre de la rénovation de bâtiments. Différents modèles numériques ont aussi été créés pour scruter la qualité de l'air intérieur ou, à plus grande échelle, pour comprendre la formation de microclimats urbains, en particulier lors d'épisodes caniculaires.

Un système grandeur nature a également été installé pour tester les performances de différentes façades. Implantée à La Rochelle, cette plateforme permet d'étudier les propriétés énergétiques et thermiques des deux côtés du mur. Sa surface n'est pas homogène, mais est constituée d'une mosaïque de matériaux multifonctionnels, avec des capteurs solaires ou encore des systèmes de ventilation. Les chercheurs y scrutent en particulier l'impact d'infimes défauts de conception sur les performances énergétiques globales. Des essais

grandeur nature et en climat naturel ont également été réalisés pour scruter l'impact de défauts de systèmes d'isolation utilisés en rénovation.

Un des grands axes de 4evLab concerne le contrôle de la qualité de l'air intérieur, qu'il s'agisse d'une habitation ou d'un bâtiment tertiaire. Les solutions commerciales pour des mesures fiables et continues de la présence de particules en suspension avoisinent les 20 000 euros pièce, ce qui représente rapidement un budget conséquent s'il faut disposer plusieurs de ces capteurs dans un même bâtiment. Le 4evLab a donc mis au point un capteur à bas coût, qui a été breveté mais n'est pas encore en vente. Il fonctionne grâce à l'assemblage de plusieurs capteurs bon marché, dont la précision est assurée par un ingénieux système d'étalonnage à partir d'un capteur de référence.

Une fois bien installés et programmés, les capteurs de 4evLab font presque aussi bien que des modèles considérablement plus chers pour mesurer la concentration en particules dans l'air, qu'il s'agisse de particules inertes comme des poussières ou de microorganismes vivants. L'idée de combiner différents capteurs existants et de les étalonner sur place ouvre de nombreuses possibilités pour cibler d'autres types de polluants, en fonction des besoins des clients. Le capteur pourra d'ailleurs aussi bien se présenter sous la forme d'un appareil qu'un opérateur peut transporter à la main à travers un bâtiment, ou d'un boîtier discret et autonome fixé dans un système de ventilation.



Exemple d'étude du microclimat urbain par le 4evLab.
©LaSIE

Les principes physiques de fonctionnement sont à présent bien maîtrisés, le capteur va pouvoir entrer dans une phase de tests à plus grande échelle et être déployé dans des situations réelles. L'objectif est qu'une entreprise autre qu'EDF puisse acquérir une licence sur cette technologie, pour la déployer largement. En plus de la question financière, le 4evLab prend soin de garantir que ses solutions ne soient pas trop énergivores.

Face aux multiples enjeux liés à la qualité de l'air, EDF et le Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement ont fondé en 2016 le laboratoire commun 4evLab. De nombreux projets y sont menés, dont la conception d'un capteur capable de mesurer précisément et en continu la présence de particules en suspension dans l'air. Le laboratoire 4evLab devrait aussi proposer prochainement un logiciel pour une aide automatisée de la rénovation thermique des bâtiments.

« Améliorer la qualité de l'air intérieur a toujours un coût énergétique, insiste Thierry Duforestel, chercheur R&D chez EDF. Avec 4evLab, nous trouvons et développons des réponses pour y parvenir plus efficacement, d'autant que ces questions intéressent un grand nombre d'entités du groupe EDF. Le format du laboratoire commun renforce la tendance naturelle de la R&D, où les équipes de recherche qui travaillent ensemble se contentent rarement d'un seul projet. D'autant que les problématiques sur les particules en suspension se sont multipliées en cette période d'épidémie. » Enfin, les équipes du 4evLab développent une chaîne d'outils pour le diagnostic automatisé et la proposition de solutions optimales de rénovation des bâtiments. Ces travaux sont menés dans le cadre du programme CEE SmartReno. Cette chaîne d'outils sera mise à disposition du grand public et pourrait être disponible dès la fin de l'année.

AMENER L'IMPRESSION DE BIOMOLÉCULES À L'ÉCHELLE MICROMÉTRIQUE ET NANOMÉTRIQUE À LA PORTÉE DE TOUS LES LABORATOIRES DE BIOLOGIE AVEC INNOPSYS

Le CNRS et la société Innopsys, spécialisée dans les équipements et logiciels associés pour les laboratoires de recherche biotechnologique et médicale, ont commencé à collaborer en 2006 et ambitionnent aujourd'hui de renouveler pour la troisième fois leur laboratoire commun. L'appareil Innostamp40®, qui permet de rendre accessible l'impression de biomolécules à l'échelle micro et nanométrique, est un bel exemple des innovations issues de ce solide partenariat.

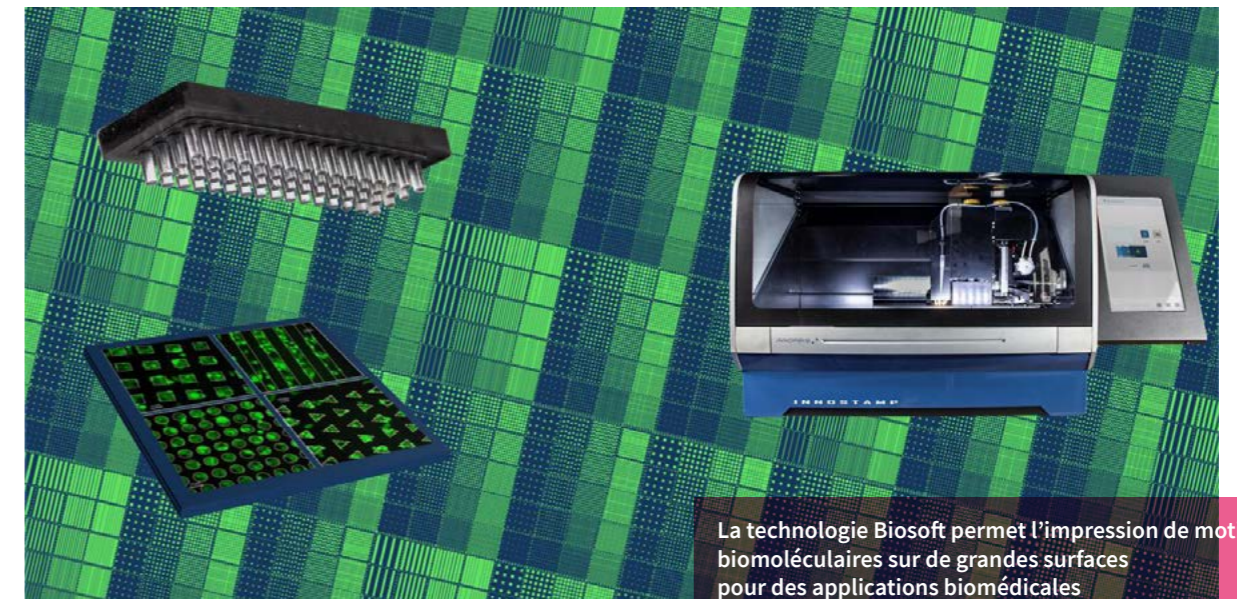
La biodétection, procédé de détection et de quantification de molécules cibles, couvre un large champ d'applications médicales allant du criblage pharmaceutique à la détection de pathologies en passant par l'analyse de gènes. Elle nécessite au préalable le positionnement de biomolécules sur un récepteur, opération coûteuse et complexe. En 2006, l'équipe NBS (NanoBioSystèmes) du Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes (LAAS-CNRS) axe ses travaux de recherche sur l'impression de biomolécules par lithographie douce, technique qui permet la création de motifs moléculaires bien définis sur de nombreux types de surfaces. Cette méthode, dont le coût de fabrication est largement inférieur aux dispositifs existants, présente une exceptionnelle résolution spatiale sur des échelles allant du nanomètre au micromètre. Afin de tester ses nouveaux procédés de biodétection, le LAAS-CNRS contacte Innopsys. L'entreprise y voit l'opportunité de développer une nouvelle gamme d'instruments et les deux entités décident en 2013 de structurer leur partenariat autour d'un laboratoire commun, qu'ils nomment Biosoft.

Cette nouvelle structure, qui permet au CNRS et à Innopsys un partage des moyens expérimentaux et des compétences, a pour but le développement de procédés de lithographie douce à destination du domaine biomédical. La philosophie de Biosoft consiste à ex-

plorer avec un regard industriel les possibilités offertes par ces nouvelles méthodes. Le partenariat se concrétise par une salle dédiée au sein du LAAS-CNRS équipée d'appareils mis à disposition par les deux partenaires, où sont rassemblés les différents prototypes et produits co-développés.

InnoStamp40® fait partie des innovations imaginées au sein du laboratoire commun. Développé par Innopsys, ce produit permet une impression par microcontact (forme de lithographie douce) entièrement automatisée et précise à l'échelle nanométrique. Les recherches menées à Biosoft ont contribué à faire évoluer l'appareil en accompagnant Innopsys sur son positionnement sur le marché, à travers l'étude des différents usages possibles de l'appareil et de la concurrence. Les résultats issus de ces études ont mené l'industriel à orienter son produit vers la fabrication de puces à cellules, dispositifs miniaturisés permettant d'étudier les cellules vivantes. En plus de développer la gamme d'offres d'Innopsys, cet outil amène l'automatisation jusque dans les mains des biologistes et les rend autonomes : une formation spécialisée n'est plus nécessaire pour générer des puces à cellules.

Les partenaires ont également travaillé sur l'évolution technique du prototype, en effectuant une série de tests sur l'impression d'une grande variété de bio-



La technologie Biosoft permet l'impression de motifs biomoléculaires sur de grandes surfaces pour des applications biomédicales.

© Biosoft

molécules sur différents types de surfaces. Les essais réalisés ont optimisé le procédé de fabrication de puces à cellules avec l'InnoStamp 40® et ont apporté une crédibilité supplémentaire à Innopsys dans sa démarche commerciale, lui permettant de s'appuyer sur les recherches conduites ainsi que sur les équipes du

La société Innopsys et le Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes (LAAS-CNRS) ont joint leurs talents pour former le laboratoire commun Biosoft. Ses travaux visent à développer des procédés de lithographie douce pour le domaine biomédical. La collaboration a notamment permis de mettre au point Innostamp40®, un appareil qui imprime des biomolécules aux échelles micro et nanométrique.

LAAS-CNRS pour fournir plus rapidement les preuves de concept demandées par les clients. Le produit est aujourd'hui commercialisé au niveau mondial, du Canada à l'Allemagne en passant par l'Algérie.

Structurer leur partenariat autour d'un laboratoire commun a permis aux deux entités, par le biais des ressources techniques, humaines et financières mises en place, de valoriser InnoStamp 40® comme un instrument répondant à des problématiques du secteur biomédical. Grâce aux différents tests effectués, l'orientation de son évolution a impacté l'activité économique d'Innopsys. Le CNRS et l'industriel envisagent à présent de reconduire pour la troisième fois leur laboratoire commun afin de consolider leur partenariat et faire émerger de nouveaux projets.

PERKIN ELMER/CISBIO BIOASSAYS : CIBLER DES RÉCEPTEURS IMPLIQUÉS DANS DE NOMBREUSES MALADIES

Les récepteurs couplés aux protéines G, essentiels à la communication entre nos cellules et qui permettent l'activation des voies de signalisation à l'intérieur des cellules, sont ciblés par des centaines de médicaments. Par le biais du laboratoire commun de recherche Eidos, l'entreprise Perkin Elmer/Cisbio Bioassays et l'Institut de Génomique Fonctionnelle (IGF), sous la tutelle du CNRS, de l'Inserm et de l'université de Montpellier, développent des kits de réactifs qui permettent de détecter et d'étudier ces récepteurs. Un marché sur lequel Cisbio Bioassays est à présent le leader mondial.

La recherche pharmaceutique a besoin de divers outils pour trouver de nouveaux médicaments. La PME Cisbio Bioassays, membre du groupe Perkin Elmer, développe ainsi des réactifs chimiques à destination de clients industriels et académiques, tout en gardant un œil sur l'évolution de leurs besoins. Présents sur nos cellules et impliqués dans de nombreux processus physiologiques, les récepteurs couplés aux protéines G (RCPG) se sont par exemple imposés comme une cible pharmaceutique majeure. En 2017, un tiers des médicaments autorisés sur le marché américain agissaient sur au moins un RCPG¹.

Lorsque Cisbio Bioassays a voulu entrer en 2000 sur le marché des réactifs liés aux RCPG, l'entreprise s'est tournée vers l'Institut de Génomique Fonctionnelle, un laboratoire mondialement reconnu pour son expertise dans ce domaine. Cette coopération s'est progressivement étoffée, jusqu'à l'ouverture en 2010 du laboratoire commun de recherche Eidos. Ce laboratoire commun est implanté sur le site de l'IGF à Montpellier, tout en profitant de la proximité avec les locaux

de Cisbio Bioassays, situés à seulement 150 kilomètres dans le Gard. Ce fonctionnement fluidifie naturellement les échanges entre les quatorze membres permanents d'Eidos, issus à parts égales de l'IGF et de Cisbio Bioassays.

Les travaux menés à Eidos touchent aussi bien à la recherche fondamentale qu'à la mise sur le marché de nouveaux produits. Il s'agit principalement de concevoir des tests qui permettent de mieux comprendre le fonctionnement de ces récepteurs. La validation de ces tests permet alors leur commercialisation, offrant aux industriels la possibilité d'identifier et de caractériser des molécules candidates pour des médicaments innovants. En plus de l'expertise de ses membres,

Eidos bénéficie d'un accès à la plateforme Arpège de BioCampus Montpellier, spécialisée dans l'analyse des interactions et de la signalisation des récepteurs membranaires.

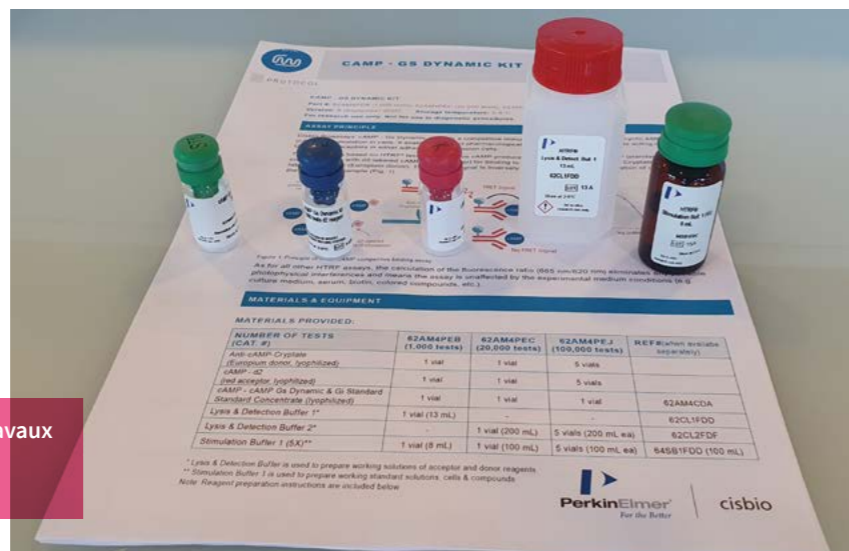
Grâce aux outils développés, Eidos permet une recherche scientifique d'excellence reconnue au travers d'une quarantaine d'articles scientifiques (Nature communications ou PNAS USA) et de la propriété intellectuelle au travers de cinq brevets. «Eidos est la structure publique/privée la plus productive que je connaisse, tant en termes de retombées scientifiques qu'industrielles, se réjouit Éric Trinquet, directeur de la R&D chez Cisbio Bioassays. Les travaux de l'IGF gardent toujours une longueur d'avance sur ceux des équipes de recherche concurrentes, car ces dernières

n'ont accès aux techniques et concepts mis au point au sein d'Eidos qu'une fois celles-ci publiées et commercialisées.»

Eidos a permis de développer la plateforme Tag-lite®, dédiée à l'étude des récepteurs présents sur les membranes des cellules, ou encore de kits de détection adaptés à différents types de RCPG. Eidos a également abouti à la mise sur le marché de kits pour étudier d'autres cibles d'intérêt pour la recherche pharmaceutique. Au total, plus de 100 millions de tests ont été menés par l'industrie pharmaceutique à partir de produits conçus par Eidos.

« Notre gamme liée aux RCPG compte parmi les plus importantes lignes de produits en termes de chiffre d'affaires pour Cisbio Bioassays, conclut Éric Trinquet. Nous sommes à présent les numéros un du marché des solutions pour les RCPG pour l'étude l'industrie pharmaceutique et le monde académique, avec un très large portefeuille de produits. Or quasiment tout ce qui touche, chez nous, aux RCPG provient de notre collaboration avec l'IGF. »

¹ Hauser et al., Trends in GPCR drug discovery: new agents, targets and indications, *Nature Reviews Drug Discovery*



L'Institut de génomique fonctionnelle et Perkin Elmer/Cisbio Bioassays ont renforcé leurs liens en créant Eidos. Ce laboratoire commun de recherche se focalise sur des cibles thérapeutiques majeures appelées RCPG. Grâce à son portefeuille de produits développés avec l'IGF, Perkin Elmer/Cisbio Bioassays est devenu le leader mondial des kits pour détecter et étudier les RCPG. En dix ans, plus de 100 millions de tests ont été fournis à l'industrie pharmaceutique grâce à Eidos.

Exemple de kit de détection issu des travaux de l'équipe Eidos.
©Eidos.

MODÉLISER LES PROFONDEURS POUR UN STOCKAGE PLUS SÛR DES DÉCHETS RADIOACTIFS AVEC ITASCA CONSULTANTS SAS

L'enfouissement définitif de déchets nucléaires réclame une connaissance très détaillée du sous-sol. Grâce au laboratoire commun Fractory, Itasca Consultants SAS, le laboratoire Géosciences Rennes, sous la tutelle du CNRS et de l'université Rennes 1, et l'Observatoire des sciences de l'Univers de Rennes (OSUR), sous la tutelle du CNRS, de l'université Rennes 1, de l'université Rennes 2, d'INRAE et de l'institut Agro, proposent logiciels et expertise pour modéliser les milieux géologiques complexes.

Les milieux géologiques fracturés sont des zones souterraines complexes où les circulations sont localisées dans les fractures. Ils font l'objet d'une attention toute particulière car ils fournissent des conditions de profondeur et d'isolation propices à l'enfouissement de déchets nucléaires. Un stockage pérenne nécessite cependant de bien connaître le comportement et les mouvements des roches alentour, et ne saurait être entrepris sans de solides simulations et études préliminaires.

Spécialisée dans la modélisation des sols et la géomécanique, à destination entre autres des industries minières, Itasca Consultants SAS comble le manque d'expertise et de solutions techniques sur l'étude des milieux géologiques fracturés. L'entreprise a pu le faire en s'associant au laboratoire Géosciences Rennes et à l'OSUR, pour fonder le laboratoire commun de recherche Fractory.

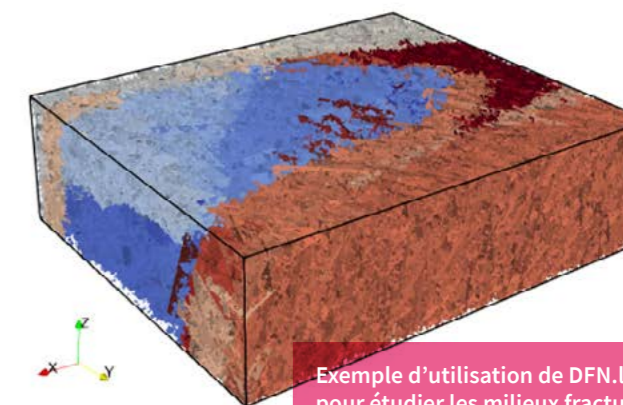
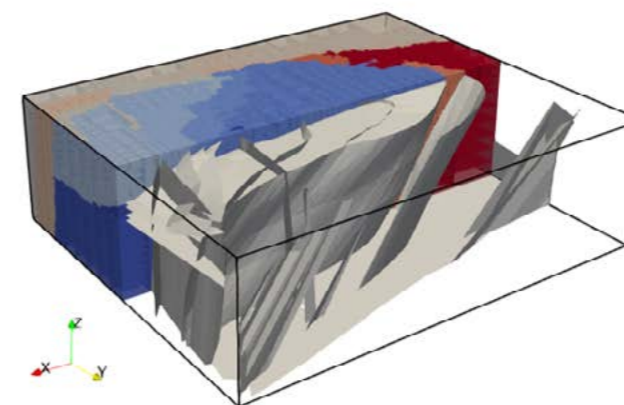
Fondé en 2018, Fractory s'est implanté dans des locaux fournis par l'université de Rennes où onze chercheurs, ingénieurs, doctorants et postdoctorants, affiliés soit à Itasca soit à Géosciences Rennes, travaillent ensemble à développer leur savoir-faire. Ce laboratoire commun a permis une recherche de haut niveau, conduisant entre autres au développement de deux plateformes informatiques : DFN.lab et RIVER.lab.

DFN.lab représente et modélise en 3D les massifs rocheux comme des réseaux de fractures. Le logiciel prend en compte les propriétés physiques et mécaniques de ces milieux naturels afin de comprendre comment des contaminants peuvent y circuler. Cela en fait un outil de choix pour analyser les risques sur des sites d'enfouissement de déchets radioactifs, en prenant en compte leurs échelles spatiales et temporelles. RIVER.lab, encore en phase de maturation, s'intéresse plutôt à la géomorphologie des phénomènes en surface, par exemple pour comprendre comment une rivière s'écoule et modifie le paysage. La plateforme prend en compte des paramètres comme l'érosion et la sédimentation, et permet de modéliser les risques d'inondations.



Exemple du logiciel River.lab.

© CNRS



Exemple d'utilisation de DFN.lab pour étudier les milieux fracturés.

© Manoir Industries

Le laboratoire commun propose trois manières d'utiliser DFN.lab en fonction de la clientèle. D'abord, la plateforme est à disposition des équipes académiques qui le demandent. Dans une seconde approche, les équipes du laboratoire commun utilisent elles-mêmes DFN.lab dans le cadre de projets confiés par des industriels, parmi lesquels on retrouve les entreprises de gestion de déchets nucléaires SKB (Suède) et NWMO (Canada). Enfin, la Fractory réfléchit à un troisième système, basé sur un club d'abonnés qui bénéficieraient d'un large accès aux plateformes et à l'expertise de la Fractory.

Le laboratoire Géosciences Rennes et l'OSUR collaborent avec Itasca Consultants SAS afin de développer une expertise et des logiciels dédiés à l'étude des milieux géologiques fracturés. Sous le nom de Fractory, leurs travaux communs offrent une meilleure modélisation des risques lors de l'enfouissement de déchets nucléaires. Cette alliance a abouti au doublement du chiffre d'affaires de l'entreprise sur leur secteur des milieux géologiques fracturés.

« Grâce à la Fractory, nous avons doublé le chiffre d'affaires de nos activités sur les milieux fracturés depuis 2018, s'enthousiasme Caroline Darcel, ingénieure principale chez Itasca Consultants SAS. Cette collaboration a créé un énorme levier pour notre visibilité et notre croissance. Elle a vraiment été une charnière : alors qu'avant nous devions toujours démarcher nos clients, notre expertise est si reconnue à l'international qu'ils nous contactent à présent d'eux-mêmes. »

Itasca Consultants SAS appartient au groupe Itasca International Inc, qui est constitué de plusieurs entités avec des implantations internationales qui ont chacune leur spécialité, comme l'industrie minière ou le génie civil. La Fractory permet au groupe d'ajouter une nouvelle corde à son arc grâce à son expertise sur les milieux géologiques fracturés et de développer l'activité de la branche française.

AU SERVICE DE LA REPRODUCTION ASSISTÉE AVEC IMV TECHNOLOGIES

Face à des difficultés de changement d'échelle entre les résultats in vitro et la commercialisation d'un produit, IMV Technologies et l'Institut pour l'Avancée des Biosciences (IAB), sous la tutelle du CNRS, de l'Inserm et de l'université Grenoble Alpes, ont fondé le laboratoire commun LIPAV. Différents procédés liés à l'insémination artificielle des bovins et des porcins ont ainsi pu être perfectionnés, et une molécule améliorant la fertilité des taureaux a été identifiée.

IMV Technologies est le leader mondial dans les technologies de reproduction assistée pour l'animal. Présente dans huit pays, l'entreprise propose une gamme de produits et services au profit de nombreux mammifères domestiques (et plus particulièrement pour les bovins destinés à produire du lait et les porcins élevés pour leur viande), des poissons d'élevage, mais également d'espèces sauvages menacées comme les jaguars et les pumas. IMV Technologies, à travers ses filiales, est aussi impliquée dans la reproduction humaine.

Le secteur de l'insémination et de la fécondation artificielles demande un grand niveau de maîtrise technique, ce qui a poussé IMV Technologies à s'associer à l'équipe de recherche Génétique, Épigénétique et Thérapies de l'Infertilité (GETI) de l'IAB, dirigée par le Dr Vet C. Arnoult, pour fonder le Laboratoire Innovation Procréation Assistée Vétérinaire (LIPAV). Opérationnel de 2015 à 2020, il a amélioré de plusieurs manières les méthodes de reproduction assistée chez les animaux. La collaboration continue aujourd'hui sous d'autres formats.

L'amélioration des techniques de procréation assistée est critique pour les élevages bovins, car l'intégralité des vaches laitières est fécondée de façon artificielle. Les recherches en procréation assistée se réalisent successivement sur 3 niveaux, un premier niveau sur la physiologie du spermatozoïde (mobilité, taux de survie...), un deuxième sur les compétences fécondantes

(Fécondation in vitro et développement embryonnaire préimplantatoire) et un troisième sur des essais cliniques de terrain. Le domaine souffre de difficultés chroniques de changement d'échelle avec des techniques in vitro de première phase qui tournent très bien en laboratoire, mais qui peinent à donner d'aussi bons résultats lors d'inséminations en conditions réelles. L'accès au niveau 2 est très technique et nécessite des compétences importantes. En collaboration avec l'équipe GETI, IMV-Technologies a décidé de créer un plateau technique de deuxième niveau, pour tester et valider les concepts.

Le LIPAV fonctionne donc comme une plateforme qui offre une validation intermédiaire des hypothèses avant leurs tests sur le terrain. Auparavant, l'absence de cette étape ne permettait pas d'effectuer un tri suffisant et aboutissait à un taux d'échec, aussi important que coûteux, lors des phases d'essais cliniques de terrain. Les travaux de terrain sur l'insémination artificielle sont en effet soumis à de nombreuses contraintes techniques, qui obligent à engager de lourds moyens. Par exemple, pour les bovins et les porcins, l'insémination passe par la récupération de gamètes frais dans des centres spécialisés de sélection des meilleurs étalons, puis par l'insémination de paillettes de semence directement dans l'utérus de reproductrices stabulées dans des centres spécialisés.

Les travaux réalisés au LIPAV ont permis de découvrir plusieurs composés qui améliorent la mobilité et l'efficacité des spermatozoïdes de taureaux et ces composés ont été brevetés conjointement par l'entreprise et les organismes de recherche. Les chercheurs de l'IAB ont été contactés à l'origine par IMV-Technologies en raison de leurs connaissances fondamentales très précises des mécanismes moléculaires contrôlant la physiologie spermatique, de leur compétence en procréation assistée et de leur accès à une banque de molécules actives sur les spermatozoïdes. Le LIPAV a fourni un environnement particulièrement efficace pour mener ces travaux et remplir toutes les étapes intermédiaires entre le résultat en laboratoire et les produits prêts à être commercialisés. Il a ainsi évité des essais de terrain complexes, longs et chers. Les meil-

IMV Technologies et l'Institut pour l'Avancée des Biosciences ont collaboré pour former, de 2015 à 2020, le laboratoire commun LIPAV. Celui-ci traitait de différents aspects liés à la reproduction assistée de mammifères d'élevage. Ces travaux ont notamment permis d'identifier une molécule qui améliore la fertilité des spermatozoïdes de taureaux, et qui devrait prochainement être proposée aux éleveurs via la commercialisation d'un milieu de conservation de semence innovant.

leurs molécules candidates ont ensuite été déployées sur le terrain afin de repérer celles qui avaient le plus fort impact sur la fertilité. La molécule la plus efficace est actuellement en phase de pré-lancement, avant sa mise sur le marché.

« Je considère que les laboratoires communs font partie des meilleurs dispositifs de recherche pour nous autres industriels, affirme Éric Schmitt, directeur de l'innovation, des sciences et de la technologie chez IMV Technologies. Cette relation de collaboration et de respect mutuel permet un excellent rapprochement avec le monde académique. Même avec notre chiffre d'affaires de 130 millions d'euros, nous ne pouvons pas financer des programmes aussi fondamentaux, et aussi nécessaires, que ceux conduits à l'Institut pour l'Avancée des Biosciences. Le LIPAV a été le chaînon qui nous manquait. »

Le LIPAV a également permis de former des techniciens, car les manipulations de fécondation et d'insémination demandent autant de connaissances scientifiques que d'un savoir-faire pratiquement artisanal. Enfin, le laboratoire a mené des travaux qui ont amélioré les milieux de conservation des spermatozoïdes et des embryons, augmentant les chances de fécondation. Ce sont ainsi de nombreux axes du métier d'IMV-Technologies qui ont bénéficié des recherches du LIPAV.

VERS DE NOUVEAUX APPAREILS DE RADIOPROTECTION AVEC CARMELEC

La détection des contaminations radioactives repose sur des technologies qui n'ont parfois pas été améliorées avec succès depuis des décennies. Pour les mettre à jour, la société Carmelec et le Centre d'études nucléaires de Bordeaux Gradignan (CENBG), sous la tutelle du CNRS et de l'université de Bordeaux, ont fondé le laboratoire commun P2R. Ses travaux vont notamment aboutir à la prochaine commercialisation du tout premier contaminamètre qui n'est pas faussé par la présence de rayonnements ionisants gamma, qu'ils soient naturels ou non.

Détecter et se protéger des radiations est une nécessité dans de nombreux domaines. On pense d'abord au secteur nucléaire, en particulier lors d'opérations de modernisation ou de démantèlement des centrales, mais cette problématique concerne également les machines d'analyse et d'imagerie utilisant des sources radioactives, ou encore l'industrie minière. Or les équipements actuellement sur le marché gagneraient à être améliorés.

Le spécialiste de la radioprotection Carmelec et le Centre d'études nucléaires de Bordeaux Gradignan (CENBG) ont pour cela fondé en 2017 le laboratoire commun Physique des particules pour la radioprotection (P2R). Il s'agit du premier laboratoire commun issu de l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules du CNRS (IN2P3). Les travaux du P2R sont menés à l'université de Bordeaux, mais aussi à Perpignan où Carmelec dispose d'un irradiateur à source gamma. Cet équipement est très rare, car soumis à une réglementation extrêmement stricte.

Le P2R s'est d'abord intéressé aux contaminamètres, qui évaluent la contamination radioactive sur une surface donnée, mais qui reposent sur des technologies qui n'ont pas été mises à jour depuis longtemps. Ces

appareils fonctionnent grâce à des frottis de surface, qu'il faut ensuite mesurer à l'abri de tout rayonnement ionisant qui pourrait fausser les résultats en saturant les capteurs. Cela implique de devoir constamment effectuer des allers-retours sur le terrain, au risque de contaminer de nouveaux endroits en plus de la perte de temps et d'efficacité occasionnée. Face à ces contraintes, EDF a mené pendant plus de dix ans un appel d'offres pour trouver une solution.

En juillet 2021, un appareil présenté par le P2R a remporté la mise avec brio. Ces travaux remontent à un premier contrat de recherche, en 2013, entre Carmelec et le CENBG. Le P2R a ensuite permis de les développer et de les transférer jusqu'à un prototype suffisamment avancé et innovant pour répondre aux attentes d'EDF.



Le contaminamètre conçu par P2R.
© Carmelec.

Pour ne plus être perturbé par les rayonnements ionisants, le contaminamètre du P2R mesure ce bruit de fond et le retranche à l'ensemble. Il s'agit de la seule solution sur le marché capable de le faire en présence de rayonnements gamma. L'appareil sera déployé au premier trimestre 2022.

« Le laboratoire commun a eu un impact déterminant pour nous, se réjouit Vincent Mausire, co-gérant et responsable de l'activité nucléaire de Carmelec. Le contaminamètre a débouché sur un projet énorme, la société est passée d'une entreprise familiale à une véritable échelle industrielle. Le P2R a également représenté un important vivier d'ingénieurs que nous avons ensuite recrutés. »

La société Carmelec et le Centre d'études nucléaires de Bordeaux Gradignan ont fondé le laboratoire commun P2R. Il adresse différents problèmes liés aux équipements de radioprotection, encore trop souvent basés sur des technologies datées. Le P2R a en particulier conçu un contaminamètre qui répond aux exigences d'EDF, qui attendait depuis dix ans une telle solution.



Exemple d'utilisation du contaminamètre conçu par P2R.
© Carmelec.

Le P2R a depuis lancé de nouveaux contrats de recherche, toujours pour répondre à des besoins de la filière nucléaire : améliorer le rendement de détection, simplifier la détection précoce pour les travailleurs exposés sur le terrain, innover très en amont pour les appareils du futur. Le laboratoire et ses partenaires s'illustrent ainsi par leur capacité à répondre aux besoins d'une industrie aussi exigeante que le nucléaire.

METTRE L'IA AU SERVICE DE L'ÉDUCATION AVEC LEARN&GO

Investis dans le domaine de l'éducation, la PME Learn&Go et l'Institut de recherche en informatique et systèmes aléatoires (IRISA), sous la tutelle du CNRS, de l'université Rennes 1, de l'ENS Rennes, de l'INSA Rennes, de l'université de Bretagne-Sud, d'INRIA et d'IMT-Atlantique, ont créé Script&Labs. Ce laboratoire commun a permis d'accompagner leurs travaux académiques jusqu'à la sortie d'une suite logicielle commerciale : Kaligo. Elle est centrée sur l'apprentissage de l'écriture grâce à un stylet et une tablette, et est actuellement disponible en français et en anglais.

Poussé par le développement du numérique et de l'intelligence artificielle, le digital learning permet de personnaliser et rendre plus autonome l'apprentissage pour les enfants. La PME Learn&Go s'inscrit dans ce mouvement et propose plusieurs logiciels. Une partie de son savoir-faire vient de Script&Go, une entreprise « sœur » spécialisée dans les solutions digitales sur tablette et mobile pour le BTP. Afin de transférer ses compétences et se développer dans le domaine de l'éducation, Learn&Go s'est associée avec l'IRISA en 2017 pour fonder le laboratoire commun Script&Labs.

Les chercheurs de Script&Labs ont commencé à travailler ensemble dès 2014, sur un projet commun de cahier numérique appelé Intuiscript, que la collaboration scientifique a transformé en une véritable application commerciale : Kaligo. Ce logiciel, et ses différentes briques constitutives, a depuis ses premiers pas rassemblé un montant total d'environ dix millions d'euros.

Pour utiliser Kaligo, les enfants écrivent sur une tablette à l'aide d'un stylet. Le logiciel est alors en mesure, grâce notamment à l'intelligence artificielle, d'analyser l'écriture manuscrite des écoliers et de leur faire des retours en temps réel. Kaligo sert aussi à des enfants plus âgés, avec notamment une partie dédiée aux mathématiques, plus précisément à l'arithmétique des opérations posées, pour des niveaux Cycle 2 et 3.

Trois systèmes d'intelligence artificielle, spécialité des équipes IRISA, sont impliqués dans Kaligo. Le premier s'attache à l'analyse de la production écrite des graphèmes, des lettres et des mots, à leur sens, leur ordre et leur forme. Le second livre une analyse vocale afin d'en vérifier la bonne lecture et prononciation. Le dernier est un assistant développé par Learn&Go destiné à l'enseignant, qui l'aide à suivre la progression de l'enfant et lui recommande de nouveaux exercices.

Kaligo est conçu pour apporter un retour personnalisé et en temps réel aux élèves, qui comprennent ainsi mieux où se situent leurs lacunes et apprennent à les combler. Il existe également une version, Kaligo Dys, développée pour les enfants ayant des besoins éducatifs spécifiques, par exemple en présence de dyspraxie ou de dyslexie. Kaligo Dys fournit une compensation à leurs troubles pour les aider dans leurs activités. Pour accompagner les enseignants, une interface analyse l'ensemble des travaux de la classe et souligne les difficultés et leurs origines, puis propose de nouveaux exercices. Ceux-ci s'effectuent en cours, mais aussi à la maison. Kaligo est ainsi pensé pour fonctionner à distance, même avec un Wifi au débit limité.

« Script&Labs a été un maillon essentiel de notre chaîne d'industrialisation, déclare Benoît Jeannin, PDG de Learn&Go. Les laboratoires communs sont d'excellents moyens d'aider les PME qui n'ont normale-



Un enfant utilise Kaligo.
©Learn&Go.

ment pas accès à de la recherche fondamentale ou appliquée. » Script&Labs s'arrête à la fin de l'année, mais la collaboration entre Learn&Go et l'IRISA se poursuit sous d'autres formes, avec par exemple un projet sur des dictées interactives.

La PME Learn&Go et l'IRISA ont fondé le laboratoire commun Script&Labs. Cette collaboration a permis de développer et d'industrialiser le logiciel Kaligo, qui utilise l'intelligence artificielle pour accompagner l'apprentissage de l'écriture manuscrite et des mathématiques. Entre les ventes et les financements publics, Kaligo a rassemblé 10 millions d'euros depuis ses débuts.

D'abord pensée pour le français, cette solution logicielle peut se décliner dans d'autres langues. Elle a déjà été adaptée au curriculum scolaire anglais. Kaligo s'attaque également au marché de langue allemande (Allemagne, Suisse, Autriche). Ainsi Kaligo a été retenu en avril 2021 par le Grand-duché du Luxembourg pour promouvoir leur langue nationale, maîtrisée par seulement 55 % de leur population native.

AVEC PIERRE FABRE, UNE ÉTUDE DE LA SIGNATURE BIOLOGIQUE DE L'EAU THERMALE D'AVÈNE

Pour comprendre d'où viennent les propriétés bénéfiques de l'eau thermale d'Avène, le groupe Pierre Fabre s'est associé au Laboratoire de biodiversité et biotechnologies microbiennes (LBBM), sous la tutelle du CNRS et de Sorbonne Université, pour construire une équipe mixte de recherche. Cette longue et fructueuse collaboration a notamment permis de développer plusieurs principes actifs, que l'on retrouve aujourd'hui dans des produits commercialisés par la marque Avène. D'autres études concernent l'impact environnemental des filtres solaires.

Parmi leurs multiples activités, les laboratoires Pierre Fabre possèdent une station thermale à Avène, dans l'Hérault, reconnu internationalement pour les propriétés dermatologiques de son eau. Au-delà de sa réputation bien établie, il faut comprendre pourquoi cette eau est si efficace. Le groupe Pierre Fabre a donc fait appel au Laboratoire de biodiversité et biotechnologies microbiennes pour fonder une Équipe mixte de recherche (EMR). Renouvelée tous les quatre ans depuis 2002 et avec des racines remontant à 1995, il s'agit d'une des collaborations public/privé les plus anciennes et les plus efficaces du CNRS et de Sorbonne Université.

Des locaux communs et une plateforme technique ont été installés à l'observatoire océanologique de Banyuls-sur-Mer, dans les Pyrénées-Orientales. L'EMR a mis en évidence la présence d'une signature biologique dans l'eau thermale d'Avène qui, en plus de la signature minérale déjà connue, confère à l'eau thermale d'Avène ses propriétés uniques. Les microorganismes présents dans cette eau jouent un rôle essentiel et longtemps sous-estimé. Ce constat a servi à mettre au point différents produits dermocosmétiques.

Ces travaux ont d'abord permis le lancement de XeraCalm A.D, un produit phare de la marque Eau Thermale Avène, propriété du groupe Pierre Fabre. Ce baume soulage les dermatites atopiques, une forme d'eczéma pour laquelle de nombreuses personnes venaient en cure à Avène. L'EMR a montré que les bienfaits de l'eau thermale étaient dus à une bactérie unique : *Aquaphilus dolomiae*. Un extrait a été développé à partir de cette bactérie afin de moduler la réponse inflammatoire de la peau. Ces travaux ont été brevetés et la gamme XeraCalm A.D se trouve depuis 2013 dans les rayons de toutes les pharmacies. Plus récemment, l'EMR a développé un autre actif postbiotique, à partir de la même souche bactérienne, qui favorise la réparation des lésions cutanées. Il est à présent commercialisé dans la gamme Cicalfate+.

L'EMR s'est également penché sur l'impact des crèmes et autres écrans solaires sur l'environnement marin. De nombreux travaux ont permis d'établir de solides méthodologies pour comprendre spécifiquement leurs effets sur les algues, le plancton, ou encore les coraux. Quasiment tous les écrans solaires du marché, y compris ceux qui ne sont pas issus du groupe Pierre Fabre, ont ainsi été testés au niveau de leur biodégradabilité et de leur écotoxicité.

Grâce aux modèles développés, l'EMR a réalisé l'ensemble des tests sur les systèmes photoprotecteurs présent dans la nouvelle gamme solaire d'Eau Thermale Avène. Ces tests ont montré qu'elle est beaucoup plus respectueuse de l'environnement que tout ce qui existe sur le marché. Cette nouvelle gamme sera lancée en 2022. « L'équipe mixte de recherche nous a permis de mener et de valoriser de nombreux travaux, souligne Sandrine Bessou-Touya, directrice de la recherche appliquée au sein de la R&D dermocosmétique chez Pierre Fabre. D'autres projets sont en cours, mais ils sont encore à un stade trop précoce pour en parler. »

Depuis 2002, le groupe Pierre Fabre et le Laboratoire de biodiversité et biotechnologies microbiennes collaborent au sein d'une équipe mixte de recherche. Ces travaux portent sur la signature biologique de l'eau thermale d'Avène et ont mis en évidence les bienfaits d'une souche bactérienne endémique de ce site. Des principes actifs ont ainsi été développés et introduits dans différents produits de la marque Eau Thermale Avène. L'EMR a également longuement étudié les effets des écrans solaires sur la biodiversité marine.

À LA POINTE DES CAPTEURS SOLAIRES THERMIQUES AVEC VIESSMANN FAULQUEMONT SAS

Utilisés principalement pour l'eau chaude sanitaire et en complément du chauffage, les capteurs solaires thermiques souffrent de problèmes chroniques de surchauffe qui dégradent le fluide caloporteur. La société Viessmann Faulquemont SAS et l'institut Jean Lamour, sous tutelle CNRS et université de Lorraine, ont uni leurs compétences pour y remédier, par le biais du laboratoire commun SOLARIS. Il a permis de mettre au point une couche qui autoadapte ses performances pour ne pas dépasser les 150 degrés de température de stagnation.

Les panneaux solaires reposent souvent sur les technologies photovoltaïques, qui produisent de l'électricité à partir de l'énergie du soleil. Il existe aussi des capteurs solaires thermiques, qui transmettent la chaleur des rayons pour chauffer à moindre coût l'eau et les bâtiments. Le développement de ces panneaux solaires thermiques est cependant freiné depuis des années par des problèmes de surchauffe. Leur température peut dépasser les 200 degrés, et dégrade alors le glycol, le liquide chargé de transporter la chaleur au réservoir de stockage.

Viessmann Faulquemont SAS est un fabricant de systèmes de chauffage de portée internationale, dont le chiffre d'affaires dépassait les 117 millions d'euros en 2019. Soucieuse d'améliorer sa gamme de capteurs solaires thermiques, l'entreprise s'est rapprochée de l'institut Jean Lamour en 2010. Cette collaboration s'est poursuivie avec la fondation en 2014 d'un labo-

ratoire commun : SOLutions Appliquées à la Recherche d'Innovations Solaires (SOLARIS). Ses objectifs consistent à développer une nouvelle génération de capteurs solaires thermiques intelligents. Ces derniers doivent apporter une solution alternative à la couche solaire actuelle, tout en optimisant la régulation thermique. Des améliorations doivent également être portées à l'installation et à la maintenance des capteurs solaires thermiques. Enfin, tout cela doit se faire sans surcoût, voire en réduisant la facture.

Parmi tous ces objectifs, SOLARIS s'est surtout illustré dans la conception de nouvelles couches pour les capteurs solaires thermiques, qui amoindrissent les problèmes de surchauffe. Pour cela, le laboratoire a reçu 350 000 euros de financements extérieurs ainsi qu'un cofinancement de l'ADEME, une somme notamment investie dans la recherche et pour une machine de dépôt d'ampleur semi-industrielle. Elles ont permis aux



Élaboration des couches sélectives solaires sur machine semi-industrielle, upscaling et premiers tests du produit thermprotect.

© Institut Jean Lamour.



chercheurs d'étudier le fonctionnement et les interfaces de différentes couches de matériaux, puis, couplées à l'expertise des scientifiques de l'institut Jean Lamour, elles ont facilité le transfert des résultats du laboratoire à une échelle de production industrielle.

Cinq contrats de recherche ont été menés dans le cadre de SOLARIS et ont abouti à trois brevets. L'équipe a en particulier conçu une couche en dioxyde de vanadium. À partir de 70 degrés, elle commence à émettre de plus en plus de radiations thermiques vers l'extérieur, au point que le glycol ne peut plus dépasser les 150 degrés. Il ne se dégrade donc plus à l'usage sous l'effet de la température. Finalement, ces nouveaux capteurs solaires limitent la surchauffe et ont permis d'espacer les maintenances du système.

En 2016, ce matériau a été mis sur le marché sous le nom de Thermprotect, une couche sélective solaire thermochrome qui équipe à présent l'immense majorité des capteurs thermiques Viessmann. 1 000 000 m² de cette couche ont été installés, un essor qui a boosté les ventes de capteurs thermiques de 15 % pour l'entreprise en 2020. Des chiffres impressionnants alors que le secteur est en baisse constante depuis 2008.

Viessmann Faulquemont SAS et l'institut Jean Lamour ont fondé en 2014 le laboratoire commun SOLARIS. Chargée d'améliorer les capteurs solaires thermiques, cette collaboration a notamment donné naissance au revêtement Thermprotect, qui préserve les panneaux de la dégradation due à la surchauffe. Cet absorbeur thermochrome équipe à présent 90 % des capteurs solaires thermiques vendus par Viessmann et a été installé sur une surface cumulée de 1 000 000 m² carrés.



Capteur solaire Viessmann Vitosol 200-FM équipé de la technologie Thermprotect.

© Viessmann.

« Thermprotect nous a permis d'attaquer de nouveaux marchés, comme la Croatie, la Bulgarie et la Hongrie, se réjouit Nicolas Portha, responsable production et développement couches solaires chez Viessmann Faulquemont SAS. Ces marchés sont réputés "low cost" pour un capteur solaire thermique standard, mais, grâce à nos travaux de recherche, nous avons créé un point de différenciation unique, qui nous a permis d'accéder à ces marchés en maintenant notre positionnement tarifaire. Cela nous a donné un énorme avantage sur nos concurrents, qui n'arrivent toujours pas à copier notre savoir-faire. Aujourd'hui, la couche Thermprotect est présente sur 90 % de nos ventes de capteurs solaires. »

Un succès tel que Viessmann Faulquemont SAS envisage d'investir dans de nouvelles machines pour répondre à la demande. Fort d'avoir relevé le défi qui justifiait sa fondation, le laboratoire commun SOLARIS a atteint son terme fin septembre. La collaboration se poursuit néanmoins, toujours pour innover sur les couches des capteurs solaires.

METTRE AU POINT DE NOUVELLES TECHNIQUES DE MODÉLISATION POUR LES POLYMÈRES AVEC MICHELIN

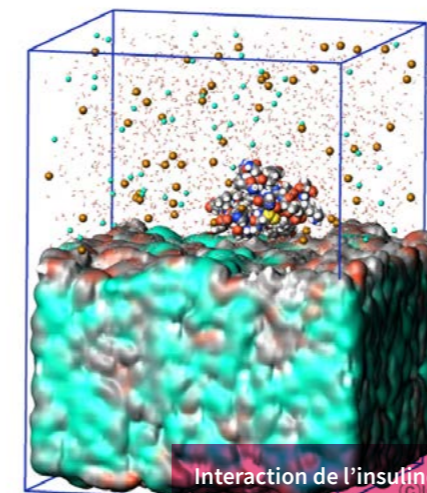
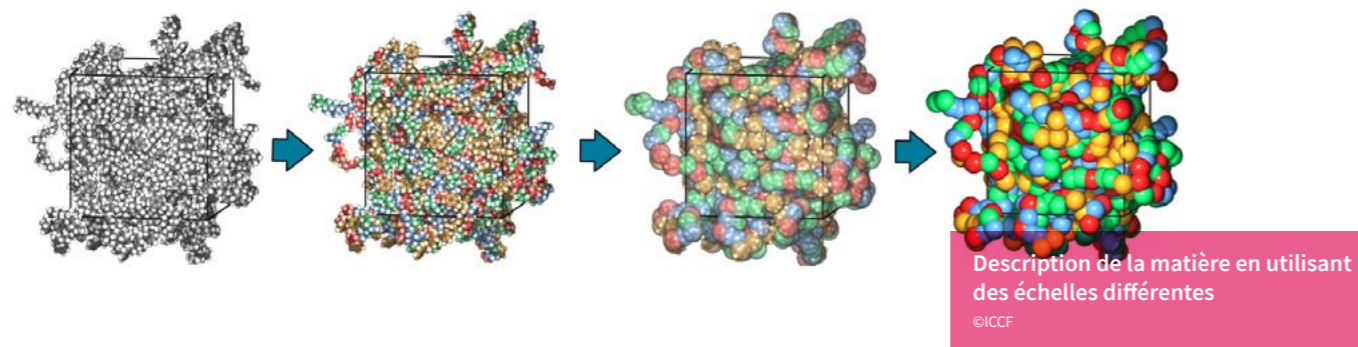
Les différentes échelles de la matière ne dictent pas les mêmes propriétés, il faut donc pouvoir naviguer entre plusieurs tailles pour bien comprendre le comportement d'un matériau. Michelin et l'Institut de chimie de Clermont-Ferrand (ICCF), sous la tutelle du CNRS et de l'université Clermont Auvergne, ont pour cela réuni leurs savoir-faire au sein du laboratoire commun SimatLab. Cette collaboration a donné naissance à de nouvelles méthodologies de simulation qui parviennent à passer de l'information d'une échelle à une autre, et ainsi simuler la matière de façon continue sur plusieurs échelles.

Le groupe Michelin est mondialement réputé pour ses pneumatiques, fabriqués à partir de polymères complexes. Lors du développement de tels matériaux, une bonne communication est essentielle entre les chimistes qui les conçoivent et les mécaniciens qui les intègrent à des objets concrets. Les modélisations informatiques représentent d'excellents outils pour étudier les matériaux et mieux comprendre leurs propriétés, mais le choix de l'échelle et de la résolution de ces simulations est crucial. En effet, chacune décrit mieux un des comportements de la matière au détriment des autres.

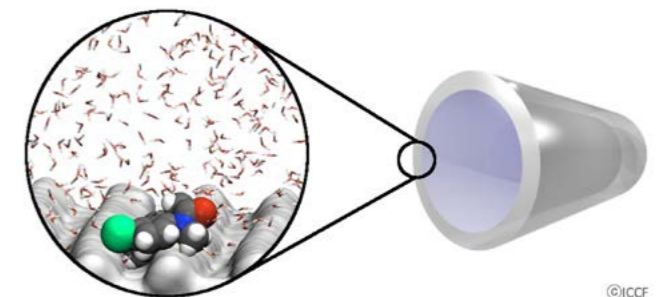
Les équipes de recherche de Michelin voulaient cependant pouvoir naviguer de façon fluide entre les échelles qui régissent les propriétés chimiques et mécaniques

des matériaux sur lesquels ils travaillent. Le groupe s'est donc rapproché de l'Institut de chimie de Clermont-Ferrand pour fonder en 2017 le SimatLab, chargé de développer de nouvelles méthodes de simulation multi-échelles des matériaux. Cette collaboration a permis de mettre au point une technique, appelée Statistical Trajectory Matching (STM), qui permet de considérer la nature chimique des polymères à l'échelle du micron et ainsi décrire leurs propriétés mécaniques.

Ces travaux ont été menés dans des locaux dédiés à l'université de Clermont-Ferrand. Une partie importante du budget équipement a été consacrée à l'installation de serveurs de calcul, car ce challenge scientifique requiert des ressources informatiques importantes.



Interaction de l'insuline sur la surface intérieure d'un tube de perfusion.
©ICCF



Zoom sur l'interaction d'une molécule de diazepam (médicament) à l'intérieur d'un tube de perfusion
©ICCF

Le SimatLab a obtenu de résultats prometteurs. La méthode STM devrait être étendue à d'autres applications, comme l'analyse des interactions des dispositifs médicaux avec les fluides en contact, en particulier les interactions de l'insuline avec des tubulures en PVC plastifié. Un autre exemple touche aux membranes polymères employées pour la production d'hydrogène et dans les piles à combustible.

Enfin, le SimatLab, via la modélisation aide à mieux comprendre les matériaux, leurs interactions, et

contribue à l'ambition « Tout Durable » du groupe Michelin. « Le groupe Michelin s'est fixé un objectif ambitieux, mais nécessaire, d'atteindre un taux de 100 % de matières durables dans ses produits d'ici à 2050, explique Étienne Munch, responsable de programme de recherche sur les matériaux de haute technologie. Le SimatLab va grandement y contribuer en nous aidant à décrire le cas très complexe de la dégradation des polymères par des enzymes dans l'eau. ». Signe de son succès, le SimatLab a été renouvelé et renforcé en octobre 2021.

Enfin, une dimension expérimentale a été ajoutée aux simulations, pour rendre les modèles plus robustes et transférables. Pour cela davantage de physiciens et de mathématiciens ont été accueillis pour renforcer ces modèles et les optimiser, grâce à l'intelligence artificielle, et les rendre moins gourmands en puissance de calcul.

Le groupe Michelin et l'institut de chimie de Clermont-Ferrand ont fondé en 2017 le laboratoire commun SimatLab. Chargé de fournir des simulations multi-échelles centrées sur les polymères des pneumatiques, le SimatLab a développé une nouvelle technique de modélisation qui a trouvé des applications au-delà de sa cible originelle. Il a été renouvelé, dans un cadre élargi, en octobre 2021.

UNIS AVEC RENAULT POUR DES VÉHICULES AUTONOMES

Née d'une collaboration entre le laboratoire Heudiasyc, sous la tutelle du CNRS et de l'université de technologie de Compiègne, et le groupe Renault, SIVALab est une structure de recherche pour l'étude et le développement de logiciels dédiés à la navigation des véhicules autonomes. Ce laboratoire commun, fondé à Compiègne en 2017, permet de concevoir et d'évaluer les meilleurs modules technologiques à assembler en vue d'une nouvelle gamme de voitures guidées par l'IA.

La conception de véhicules autonomes demande des savoir-faire différents de ceux déjà maîtrisés par les constructeurs automobiles. Désireux de s'implanter dans ce marché d'avenir, le groupe Renault s'est rapproché dès 2011 du laboratoire Heuristique et diagnostique des systèmes complexes (Heudiasyc). Ces échanges fructueux ont abouti en 2017 à la formation du Laboratoire des systèmes intègres pour le véhicule autonome (SIVALab), un partenariat scientifique et technologique qui a été renouvelé cette année pour quatre ans de plus.

SIVALab a pour objectif d'améliorer la perception et la localisation des voitures autonomes, afin qu'elles puissent mesurer en temps réel le degré de confiance que les systèmes embarqués ont dans leurs propres estimations. C'est ainsi qu'une voiture autonome peut adapter son allure non pas seulement en fonction du Code de la route, mais en prenant également en compte les conditions alentour et la qualité des données que ses capteurs lui transmettent.

Ces travaux utilisent le concept de cylindre de protection, un volume dans lequel se trouve le véhicule et où aucun obstacle ne doit entrer. L'incertitude élargit ce volume et réduit l'efficacité de la conduite autonome, le véhicule réagissant à des dangers qui ne menacent pas réellement le véhicule. La voiture roule de manière beaucoup plus fluide si le cylindre de protection est plus étroit.

Pour perfectionner la conduite, un premier logiciel a été breveté et deux autres sont en cours de préparation. Ils permettent de traiter des messages à l'intérieur des automobiles, de mieux gérer les données de circulation ou encore d'améliorer les cartes de navigation embarquées particulièrement détaillées.

SIVALab dispose de locaux dédiés à l'université de technologie de Compiègne. Les chercheurs y trouvent l'environnement scientifique et le matériel nécessaire pour développer leurs recherches. Deux Renault Zoe robotisées, équipées de capteurs et disposant de cartes routières haute définition, peuvent être commandées par un opérateur de sécurité ou un pilote automatique guidé par l'IA. L'équipe utilise ces deux voitures pour tester tout le panel des nouveaux logiciels et avancées de SIVALab, ainsi que du matériel conçu par des entreprises tierces.

« Les travaux de SIVALab nous donnent les outils techniques et théoriques pour mieux évaluer les performances des systèmes autonomes que nous voulons développer, explique Javier Ibanez Guzman, expert en systèmes autonomes chez Renault. Cette nouvelle compréhension nous aide également à mieux formuler nos besoins auprès des fournisseurs. »



Les deux Zoes robotisées par SIVALab.

©SivaLab/UTC Compiègne

De nombreux éléments, conçus par des tiers, doivent en effet être combinés pour obtenir un véhicule autonome fonctionnel. L'équipe a permis de tester en avant-première un nouveau type de caméra intelligente qui équipera les futurs véhicules, ainsi que tout

un panel de capteurs comme les capteurs PROPHESEE, spécialisés dans la capture d'événements ultrarapides. SIVALab a également permis de choisir les puces des récepteurs GNSS, compatibles avec le format de cartes routières développé chez Renault.

L'efficacité de SIVALab a également permis de participer à différents consortiums nationaux et européens, qui ont offert des occasions uniques de partager des expertises avec d'autres laboratoires ou entreprises, comme le déploiement de véhicules autonomes en zones rurales et périurbaines, ou encore l'utilisation du système européen de positionnement par satellites GALILEO. SIVALab constitue ainsi une véritable boîte à outils opérationnelle, pour avancer sur tous les fronts vers une gamme de véhicules autonomes.

Le laboratoire Heudiasyc et le groupe Renault ont fondé le laboratoire commun SIVALab. Les chercheurs en robotique et en intelligence artificielle y conçoivent des logiciels et testent des équipements afin d'aider Renault à développer une gamme de véhicules autonomes. Deux voitures Zoe ont été entièrement robotisées pour mener ces travaux.

INNOVER DANS LES MATÉRIAUX OPTIQUES ET LA NANOSTRUCTURATION DE SURFACE AVEC SAFRAN ELECTRONICS & DEFENSE

Safran Electronics & Defense et l'Institut P¹, laboratoire du CNRS, collaborent depuis 2010 dans le domaine de la Photonique. Pour que cette collaboration soit encore plus efficace et concrète, il a été décidé en 2018 la création du laboratoire commun de recherche PRIMEO¹. Ce laboratoire accueille une équipe mixte et des moyens partagés et s'inspire autant des dernières avancées techniques que de la nature.

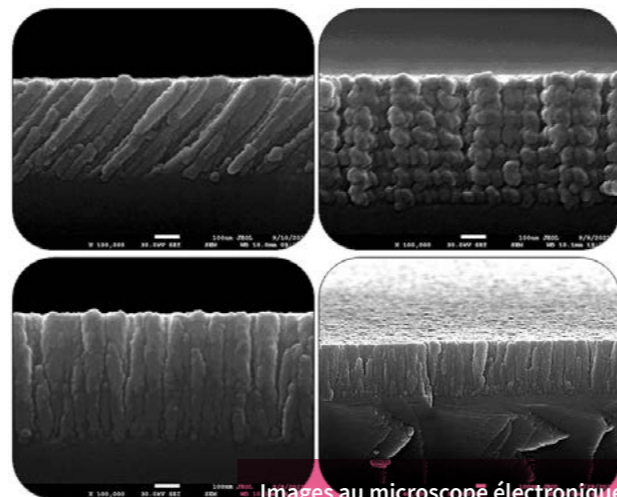
La photonique est une filière technologique en pleine croissance, identifiée par la Commission européenne comme étant l'une des technologies clés du XX^e siècle. C'est une technologie diffusante, qui adresse de très nombreux domaines applicatifs. Historiquement, la défense a largement contribué au développement de cette filière. La photonique de défense est couramment nommée Optronique.

Safran Electronics & Defense est un leader mondial reconnu dans le domaine de l'Optronique. Pour consolider cette position dans un domaine foisonnant, il est nécessaire d'identifier en permanence les innovations et les ruptures technologiques qui peuvent permettre d'améliorer notre compétitivité. Les innovations dans le domaine des matériaux optiques et des procédés de fabrication associés permettent d'envisager à court/moyen termes des améliorations différenciantes sur les produits optroniques.

Le laboratoire commun PRIMEO est l'outil de travail d'une équipe mixte, académique et industrielle, très agile et très complémentaire. L'élaboration d'une feuille de route a permis de définir et partager les axes de travail, les ambitions et la déclinaison très concrète en projets. Ceux-ci portent sur les matériaux optiques et plus précisément la fonctionnalisation des surfaces à une échelle nanométrique. Les procédés mis en œuvre permettent par exemple le développement de traitements améliorant la transparence d'une surface (i.e sans reflet) ou à l'inverse

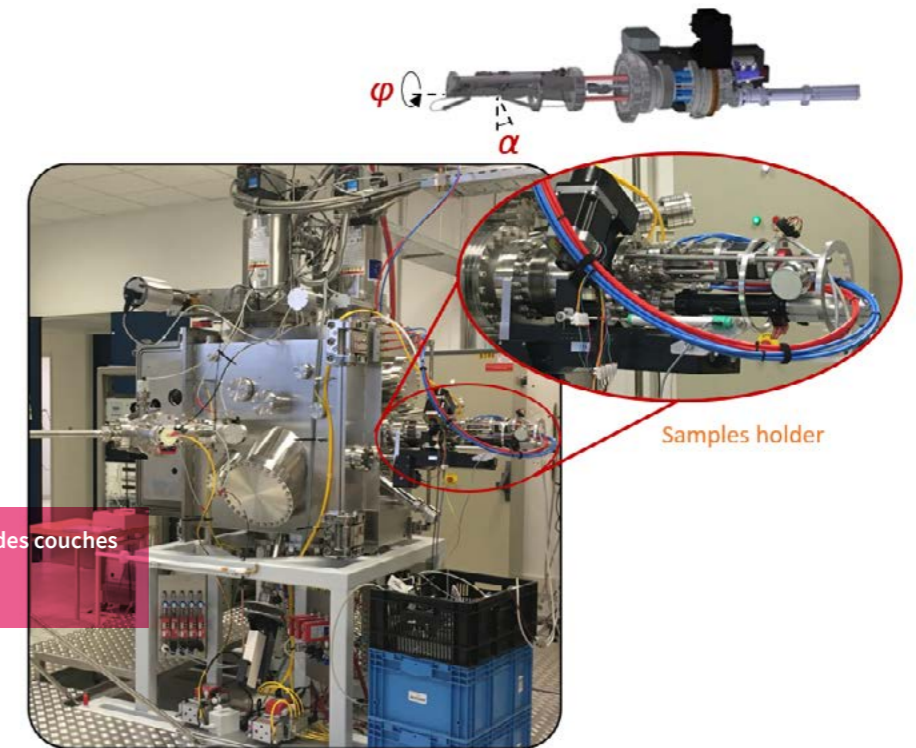
son absorption, de traitement hydrophobe, de traitement sélectif en longueur d'onde, etc. Ces traitements, pour certains d'entre eux, trouvent une inspiration venant de la nature et du monde du vivant. On parle alors de bio-inspiration.

La nature scientifique de ces travaux associée à la volonté de projeter ces innovations dans des applications industrielles explique l'idée même de ce partenariat. Les résultats obtenus depuis la création du laboratoire PRIMEO justifient son existence et valident sa pertinence. Dans un domaine aussi disruptif, les équipes sont convaincues que de nouvelles idées, de nouvelles applications émergeront au gré des travaux et des projets.



Images au microscope électronique des surfaces nanostructurées.

© PRIMEO



Prototype de machine pour le dépôt des couches minces à l'Institut P¹.

© PRIMEO

PRIMEO fait émerger et monter en maturité ces nouvelles générations de traitement qui sont clairement des sources de valeur et de compétitivité pour les produits Safran Electronics & Defense, qu'il s'agisse de jumelles multifonctions, de viseurs terrestres, aéronautiques ou marins ou même de charges utiles pour satellite ou de télescopes.

Le laboratoire commun PRIMEO, fondé en 2018 par l'Institut P¹ (CNRS) et Safran Electronics & Defense, a pour ambition d'explorer notamment le domaine des matériaux optiques innovants et de la nano structuration de surface. Ces travaux doivent permettre de développer et mûrir des briques technologiques et des process permettant de mieux répondre à des besoins techniques et opérationnels et de développer au sein de Safran Electronics & Defense des lignes de produits plus compétitives.

Cette collaboration, pilotée par l'antenne R&T du centre de production de Safran Electronics & Defense de Saint-Benoît, garantit un lien fort et permanent, d'une part avec le besoin et d'autre part avec les contraintes et les enjeux industriels. La proximité des deux parties permet effectivement le fonctionnement agile, en équipe intégrée avec des bureaux partagés au sein de l'Institut P¹.

« Le domaine de la défense nous pousse à toujours chercher l'excellence : nous ne voulons pas perdre le moindre photon, appuie Cyril Dupeyrat, ingénieur R&T chez Safran Electronics & Defense. La quête de la performance passe avant tout, et en cela nous fonctionnons très bien avec un laboratoire comme P¹. Grâce à PRIMEO, nos collaborateurs montent en compétences à la pointe de l'optique et de la photonique, afin de préparer nos prochaines gammes de produits. »

¹ Partenariat pour la Recherche et l'Innovation en Matériaux Emergents pour la Photonique



CNRS

3, rue Michel-Ange
75794 Paris Cedex 16

01 44 96 40 00

www.cnrs.fr

