

VERS UNE SOCIÉTÉ PLUS DURABLE, RÉSILIENTE ET DIGITALE

RAPPORT ANNUEL 2021

NG
TENNAS

LUXEMBOURG
INSTITUTE OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY



TECH
DAY
2021

TECH
DAY
2021

TECH
DAY
2021

ECTING REBO...
ICAL COMPOUNDS

ON FOR
YTICS & AI

IN SITU LEARNING
E FACTORY



LIST
TECH
DAY
2021

Claude Meisch
Minister of Higher Education and Research

WEDNESDAY 23 SEPTEMBER
HELVIA, LUXEMBOURG



UNIVERSITY OF
SARAJEVO
AND
LIST

TECH
DAY
2021





TABLE DES MATIÈRES

ÉDITORIAL	2
CHIFFRES-CLÉS	4
Ressources Humaines.....	6
Science et transfert.....	6
Projets R&D en cours en 2021.....	7
Collaborations Internationales.....	8
NOS ENGAGEMENTS	9
Diversité et inclusion.....	10
L'éthique au LIST.....	10
Le LIST : une conception durable.....	11
Assurer la sécurité de l'information.....	11
NOTRE RECHERCHE	12
1. Soutenir l'industrie et les décideurs politiques dans la transition vers la neutralité carbone.....	14
2. Contribuer à un environnement sûr et sain grâce à la Biotech.....	16
3. Surveiller, prévoir et prédire les effets du changement climatique.....	18
4. Développer des systèmes d'énergie propres et intelligents.....	20
5. Concevoir des systèmes de services fiables et qualitatifs.....	22
6. Exploiter les données au profit de l'économie et de la société.....	24
7. Concevoir des matériaux composites performants et durables.....	26
8. Créer des matériaux aux propriétés uniques grâce aux polymères fonctionnels.....	28
9. Explorer l'infiniment petit pour développer des matériaux aux propriétés extraordinaires.....	30
10. Concevoir une instrumentation scientifique de pointe.....	32
11. Pérenniser la présence humaine dans l'espace grâce aux ressources spatiales.....	34
NOS NOUVELLES INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE	36
NOS COLLABORATIONS	40
Témoignages.....	42
Nos modèles de collaboration.....	43
Partager nos connaissances avec la société et les entreprises.....	44
Partenaires RDI au Luxembourg et en Europe.....	46
LE LIST EN BREF	48
Thèses soutenues avec succès.....	50
Gouvernance.....	52
Bilan financier.....	54

LE MOT DE LA PRÉSIDENTE DU CONSEIL D'ADMINISTRATION ET DU DIRECTEUR GÉNÉRAL

VERS UNE SOCIÉTÉ PLUS DURABLE, RÉSILIENTE ET DIGITALE

Chères lectrices, chers lecteurs,

Le monde connaît depuis deux ans un enchaînement de crises d'une rare gravité et d'une profondeur inédite. La pandémie de COVID-19 et l'agression de l'Ukraine par la Russie rappellent l'extrême fragilité des équilibres géopolitiques, la faible résilience des chaînes d'approvisionnement mondiales, l'interdépendance de l'économie globalisée et mettent en lumière combien les décisions sont devenues infiniment complexes pour les décideurs tant publics que privés. Enjeux sanitaires, migratoires, géopolitiques, sécuritaires et environnementaux : nos décideurs naviguent en eaux troubles.

Mais une crise est aussi une opportunité de repenser les systèmes pour les rendre plus robustes. Les leçons de ces crises frontales doivent surtout nous permettre d'accélérer les transitions nécessaires à l'évitement d'une crise climatique plus insidieuse, mais aux impacts bien plus importants, comme en témoigne le sixième rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), publié en avril 2022, qui en appelle à une action immédiate pour assurer « un avenir viable ».

Un monde nouveau se dessine dont le mot d'ordre sera celui de résilience. C'est ce à quoi l'Europe s'affaire désormais, et c'est là que la mission du LIST prend tout son sens. Au LIST, nous nous efforçons de répondre aux défis mondiaux et de construire une société qui soit à la fois plus résiliente, durable et digitale. Le LIST regroupe en son sein des compétences diversifiées et complémentaires, réparties autour des technologies de l'information et de la communication, des technologies environnementales, des biotechnologies, des matériaux avancés et des ressources spatiales. Ce regroupement unique permet des synergies indispensables à la construction d'une économie et d'une société réinventées.

Ainsi, en 2021, nous avons poursuivi le développement de technologies à fort impact, tout en étoffant notre approche « sustainable by design », c'est-à-dire en nous efforçant de réduire autant que possible l'impact négatif sur l'environnement par une conception intelligente de nos produits, services et technologies. C'est dans cette direction que le LIST a formalisé sa stratégie LIST 2.0 dans le Multi-annual work programme (MAP) 2022-2025, publiée fin 2021. Cette stratégie reprend les vision, mission et valeurs du LIST, et se présente sous la forme de huit objectifs et leurs mesures permettant d'accroître l'impact économique, politique, environnemental, social, régional et académique du LIST.

En matière de partenariats, le LIST a poursuivi en 2021 sa collaboration d'envergure avec l'industriel Goodyear portant sur la mobilité durable et les matériaux du futur. Par ailleurs, il a signé un partenariat avec CircuitFoil, pour travailler sur la prochaine génération de feuilles de cuivre. Enfin, la signature de partenariats avec Air Liquide / CNES et avec Airbus Defense & Space, permettra de contribuer aux activités de R&D du European Space Resources Innovation Centre (ESRIC), implémenté comme quatrième département du LIST.



Conformément à sa mission de transfert de l'innovation, le LIST a créé la spin-off Dynaccurate, qui a pour objet l'interopérabilité automatisée des données et qui facilite la maintenance de graphes de connaissances à grande échelle.

D'un point de vue institutionnel, le LIST a continué de mettre à profit son expertise au service de la lutte contre le coronavirus, notamment en poursuivant le projet CORONASTEP visant à détecter la présence du virus dans les eaux usées. Le LIST a consolidé ce suivi dans le cadre d'un nouveau projet, CORONAVAR, visant à détecter une dizaine de variants préoccupants du virus de la COVID-19. Suite aux inondations qui ont frappé le Luxembourg et l'Europe l'été 2021, le LIST a fourni des cartes basées sur les données spatiales montrant les zones urbaines impactées, à l'échelle régionale et internationale. Un support essentiel qui prouve à nouveau notre contribution sociétale face aux chocs et événements auxquels les pouvoirs publics doivent faire face.

Enfin, l'excellence scientifique reste également au cœur des ambitions du LIST comme en témoignent les 106 projets compétitifs nationaux, les 50 projets compétitifs internationaux et les 170 projets collaboratifs en cours en 2021, les 146 publications scientifiques réalisées dans le top 10% de leur catégorie ainsi que les 28 thèses soutenues avec succès.

Dans ce rapport annuel, vous trouverez des preuves de notre engagement sans faille pour réinventer la société et assurer l'avenir des futures générations et de notre planète : des projets de recherche innovants, des infrastructures uniques et les témoignages de nos partenaires. Nous sommes particulièrement fiers de vous présenter les portraits des femmes et des hommes qui œuvrent derrière ces « success stories ». Nous avons choisi de mettre en lumière nos employés : venant des quatre coins du globe au LIST pour repousser les frontières de la recherche, ils sont les premiers ambassadeurs de cette société durable, digitale et résiliente que nous souhaitons construire main dans la main avec nos partenaires.



Eva KREMER
Présidente du Conseil d'administration



Dr Thomas KALLSTENIUS
Directeur général







| CHIFFRES CLÉS

RESSOURCES HUMAINES

Au 31/12/2021

collaborateurs | **662****66 %**

hommes

**34 %**

femmes

52

nationalités

77 %chercheurs ou
spécialistes de
l'innovation

Pour l'ensemble de l'année 2021

95personnes
embauchées
en 2021**108**doctorants
accueillis au LIST
en 2021

SCIENCE ET TRANSFERT

**17**

licences payantes

238articles
scientifiques
dans revues
1^{er} quartile**1**

spin-off

106 | projets
compétitifs
nationaux



49 projets
compétitifs
européens

1

projet compétitif
international
(hors EU)

7,49 %

de revenus en
prestation de services

170 

projets collaboratifs
et assimilés

Σ 432 | total des
projets et
contrats RDI

TYPLOGIE DES CONTRATS DE RECHERCHE

- Les projets compétitifs sont des projets de recherche ayant passé avec succès une évaluation scientifique internationale suite à un appel à projets dans le cadre de programmes nationaux ou internationaux.
- Les projets collaboratifs sont des projets de recherche impliquant une collaboration effective entre au moins deux parties indépendantes poursuivant un objectif commun fondé sur une division du travail. Les deux parties définissent conjointement la portée du projet, contribuent à sa réalisation et partagent ses risques et ses résultats.

Les projets s'inscrivant dans le cadre des missions d'utilité publique confiées au LIST, les projets de l'Agence spatiale européenne (ESA), ainsi que ceux cofinancés par des fondations, sont assimilés à des projets collaboratifs.

NOMBRE DE CONTRATS EN COURS PAR PAYS

UNION EUROPÉENNE (UE)

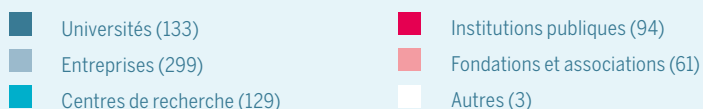
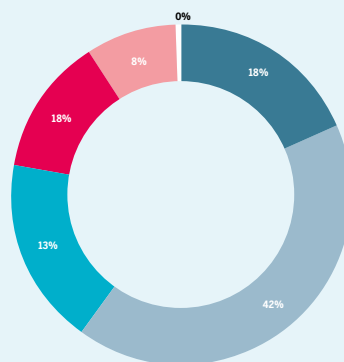
France	100
Belgique	75
Espagne	74
Allemagne	73
Italie	63
Pays-Bas	37
Grèce	35
Portugal	29
Autriche	27
Finlande	14
Pologne	14
Danemark	13
Hongrie	13
Bulgarie	11
Slovénie	11
Irlande	10
Suède	10
Croatie	9
Lituanie	6
Lettonie	5
Roumanie	4
Slovaquie	4
Malte	2
Chypre	1
Estonie	1
République Tchèque	1

HORS UE

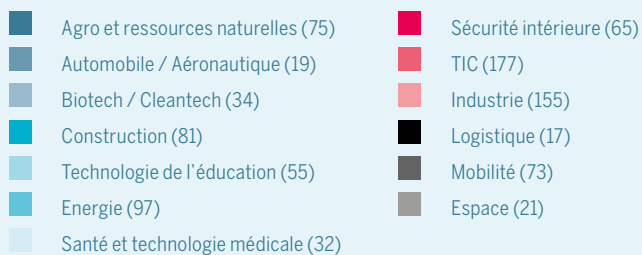
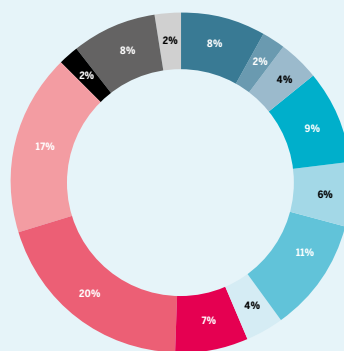
Royaume Uni	42
Suisse	6
Etats-Unis	5
Israël	2
Norvège	2
Turquie	2
Islande	1
Japon	1
Uruguay	1

COLLABORATIONS INTERNATIONALES

RÉPARTITION PAR TYPE DE PARTENAIRE DES PARTENARIATS EN COURS EN 2021



COUVERTURE PAR MARCHÉ DES PARTENARIATS EN COURS EN 2021





| **NOS ENGAGEMENTS**

DIVERSITÉ ET INCLUSION

Au LIST, nous croyons fermement aux bienfaits d'une culture inclusive. L'approche du LIST va au-delà de la diversité et de l'inclusion en termes de genre ou d'ethnicité, mais considère les différences au sens large. Le LIST s'engage auprès de tous ses collaborateurs et partenaires à promouvoir une culture d'entreprise où chacun pourrait apporter ses atouts et qualités à la stratégie du LIST, développer son potentiel, indépendamment de son ethnicité, de ses croyances, de son âge, de son genre ou de son orientation sexuelle. Cette approche permet non seulement d'accroître la créativité, l'innovation et la performance de nos équipes, mais également d'attirer et de fidéliser de nouveaux talents.

En 2021, le LIST a fait de la Diversité et l'Inclusion (D&I) l'une de ses priorités : une responsable D&I, Sabina Quijano, a ainsi été nommée en janvier. Le LIST a élaboré une Charte de la diversité, s'est engagé à participer au programme « Actions Positives » du Ministère de l'égalité entre les femmes et les hommes (MEGA), a signé la Charte de la diversité de l'organisme public Inspiring More Sustainability (IMS), a affiché son soutien à la Luxembourg Pride Week, a lancé un projet sur le harcèlement et a mené de nombreuses campagnes en interne et en externe.



Sabina Quijano

NOS ENGAGEMENTS

L'ÉTHIQUE AU LIST

La Commission européenne encourage le développement et la mise en œuvre de pratiques responsables en matière de recherche et d'innovation, dans le but de favoriser une recherche et une innovation inclusives et durables. Le LIST s'est engagé dans cette voie et s'est doté d'un Code d'éthique, qui regroupe des principes guidant la conduite de ses activités de recherche et d'innovation et de ses pratiques commerciales et administratives. Ces principes constituent la base de l'évaluation des projets, plans et pratiques de notre organisation.

Lancé en 2021, le Comité d'éthique, organe indépendant non décisionnel, rend des avis confidentiels au CEO du LIST. Il peut être activé par l'ensemble des collaborateurs du LIST. Composé de cinq membres pour quatre ans, le comité a élu en 2021 Benoît Otjacques en tant que Président et Catarina Araujo en tant que Vice-Présidente.

Parmi les principes couverts par le Code d'éthique figurent l'intégrité de la recherche, la responsabilité sociale, la protection et le respect des participants à la recherche, la protection et le respect de la vie, la protection et la gestion des données, la protection des chercheurs et de l'environnement de recherche, la diffusion de la recherche et de ses résultats, le double usage de la recherche et des innovations, la prévention des risques dans le domaine de l'informatique et des sciences de l'information et le respect de la politique de conflits d'intérêts.



Catarina Texeira d'Araujo et Benoît Otjacques



Elorri Igos, Christina Ehlert et Anne Body

LE LIST : UNE CONCEPTION DURABLE

Changement climatique, perte de la biodiversité, exploitation des ressources non renouvelables, croissance des inégalités : nul doute n'existe au sein de la communauté scientifique quant à l'urgence d'agir. Au LIST, nous nous engageons à montrer l'exemple tant dans nos activités de recherche que dans notre mode de fonctionnement quotidien. Les premiers travaux ont été lancés en 2019 à travers la création du groupe de travail « Sustainability ». Nous avons achevé en 2020 une évaluation approfondie de notre empreinte carbone selon le standard international du « Greenhouse Gas Protocol ». Des impacts de nos bâtiments, à ceux de nos achats, de notre consommation ou encore de nos habitudes de mobilité, nous avons analysé l'impact de chacune de nos opérations.

Cette première étape a déjà permis de soumettre et de mettre en œuvre plusieurs recommandations. En 2021, le LIST s'est fixé un objectif de réduction des émissions de 24 % d'ici 2025 et a adopté un plan pluriannuel avec deux KPIs différents et des objectifs qui s'y rapportent.

En adoptant « Sustainable by Design » comme valeur du LIST, nous reconnaissons l'importance de prendre en compte l'ensemble du cycle de vie d'un produit ou service pour garantir une véritable approche durable. Pour éviter tout biais ou effet indirect pernicieux, nous devons prendre en considération les phases de conception, de production, d'utilisation et de fin de vie de tout produit, y compris des nouvelles technologies. L'utilisation réduite de matières premières et une utilisation accrue de matériaux recyclés ou recyclables, biologiques ou biodégradables, font partie des critères environnementaux évalués par nos chercheurs lors de la définition des projets.

ASSURER LA SÉCURITÉ DE L'INFORMATION

Afin de protéger son patrimoine informationnel, le LIST a mis en place en 2021 une politique générale de sécurité de l'information. En effet, dans le cadre des activités du LIST, la sécurité de l'information constitue un enjeu majeur en termes de confidentialité, d'intégrité, de disponibilité ou encore de traçabilité. La protection de la sécurité concerne à la fois le patrimoine informationnel du LIST - données scientifiques, techniques, administratives et stratégiques - mais aussi celui mis à disposition par ses partenaires.

Si l'espionnage technologique et industriel a toujours existé, l'actualité de ces dernières années montre que le risque d'espionnage par des pays étrangers visant les organismes de recherche est en forte hausse. En effet, l'utilisation inappropriée des données du LIST est susceptible de porter atteinte à l'image et à la compétitivité du LIST et de ses partenaires et plus globalement au potentiel scientifique et économique du Grand-Duché de Luxembourg. Dans un contexte global de digitalisation, et d'interconnexions ou de sous-traitance, de nombreuses vulnérabilités peuvent apparaître et compromettre la sécurité des informations du LIST.

Afin d'améliorer continuellement le niveau de sécurité, le LIST articule sa démarche en s'appuyant sur la série de normes de sécurité de l'information ISO/IEC 27000 ainsi que d'autres documentations mondialement reconnues telles que les publications du NIST (National Institute of Standards and Technology) ou encore les contrôles du CIS (Center for Internet Security).



Stephen Amolo et Pascal Graissaguel





| **NOTRE RECHERCHE**

« Modifier nos comportements individuels – par exemple via le végétarisme, la mobilité douce, ou encore les achats de produits d'occasion – permet de réduire notre impact climatique personnel d'environ 20 à 30%, ce qui est certes essentiel mais malheureusement insuffisant. Réduire le reste de son empreinte carbone relève donc de l'action collective. »

Thomas Gibon,
chercheur en analyse du cycle de vie
environnemental



1. SOUTENIR L'INDUSTRIE ET LES DÉCIDEURS POLITIQUES DANS LA TRANSITION VERS LA NEUTRALITÉ CARBONE

Nous fournissons à l'industrie et aux décideurs politiques une évaluation scientifique des impacts et des risques associés à la fabrication de produits et de technologies, aux modes de consommation, aux systèmes énergétiques et à l'environnement urbain bâti. Notre recherche se concentre sur le développement d'indicateurs intégrés d'impact environnemental et social, l'évaluation de l'(éco)toxicité des produits chimiques et des matériaux, le développement de solutions intelligentes pour les villes durables et le soutien à l'élaboration de politiques environnementales. Nous appliquons notre expertise à chaque échelle de décision (des substances aux matériaux, produits, technologies, services et territoires), dans un large éventail de secteurs économiques, notamment l'industrie manufacturière, l'industrie de transformation et de services, l'agriculture, l'aménagement du territoire, la mobilité, le bâtiment et la construction, la production et la distribution d'énergie. L'objectif final est de soutenir la transition écologique et énergétique de notre société vers les objectifs de décarbonisation de 2050.

— Success story #1 —

ESTIMER L'EMPREINTE CARBONE DES RÉSIDENTS LUXEMBOURGEOIS

Comment notre économie, nos modes de vie et nos processus de gouvernance doivent-ils évoluer afin de surmonter l'ère fossile ? L'équipe dont font partie Claudia Hitaj et Thomas Gibon partage la conviction que le progrès technologique ne suffira pas à lui seul à assurer la transition écologique nécessaire. Sans nier les bénéfices de nombreuses avancées technologiques, l'objectif est d'explorer les perspectives d'une transformation plus structurelle de notre société, de son orientation économique, sociale, politique et anthropologique. Dans le cadre du concours Luxembourg in Transition, une consultation internationale lancée par le Ministère luxembourgeois de l'Énergie et de l'Aménagement du Territoire, l'équipe a présenté son plan pour un avenir sans carbone et résilient pour le Luxembourg, et a été retenue parmi les quatre équipes gagnantes du concours. Pour cela, elle a estimé l'empreinte carbone des résidents luxembourgeois et la manière dont un certain nombre de mesures de décarbonisation dans les secteurs de la mobilité, du logement, de l'agriculture et de l'alimentation pourraient aider à atteindre l'objectif de réduction de l'empreinte carbone de 15 à 1,6 tonne de CO₂ eq. par personne et par an pour respecter l'accord de Paris sur le climat. Les résultats de ce projet seront déterminants pour différents projets de suivi au niveau national et international et serviront de base à différentes activités de sensibilisation.



Thomas Gibon & Claudia Hitaj

Success story #2

S'ENGAGER POUR UNE CAUSE : L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE

En mai 2021, Thomas Schaubroeck a reçu le prix SETAC Europe 2021, décerné chaque année par la Société de toxicologie et de chimie de l'environnement (SETAC), qui reconnaît et honore les contributions exceptionnelles d'individus ou de groupes d'individus aux sciences de l'environnement et à la société. Les efforts de Thomas dans le développement et l'application de l'analyse du cycle de vie (ou *life cycle assessment* en anglais), ont ainsi été reconnus. L'analyse du cycle de vie consiste à développer des indicateurs et outils scientifiques permettant d'évaluer de manière holistique la performance des produits, des technologies et des politiques en matière de durabilité, afin de répondre aux besoins de l'industrie et des décideurs politiques. L'évaluation quantitative de la durabilité exige une recherche hautement transversale et interdisciplinaire, y compris des techniques de participation des parties prenantes. Parallèlement aux efforts de Thomas pour faire progresser la science et la diffusion publique de ses travaux par le biais de publications, de revues et de conférences scientifiques, il s'est impliqué dans l'application pratique de l'analyse du cycle de vie dans des activités liées à l'industrie, telles que le traitement des eaux usées, les systèmes de revêtement de sol et l'alimentation. Enfin, Thomas a une passion pour l'enseignement et a été un conférencier actif sur l'analyse du cycle de vie pendant deux ans, en plus de guider des étudiants de master et de doctorat pour compléter leurs dissertations sur ce sujet.



Thomas Schaubroeck



Tommaso Serchi, Arno Biber, Ruth Moeller & Arno Gutleb

Success story #3

L'EXPERTISE ENVIRONNEMENTALE DU LIST AU SERVICE DE L'OCDE

Des vêtements aux voitures en passant par le mobilier, la conception d'un produit implique bien souvent l'utilisation de produits chimiques ou encore de nanomatériaux aux compositions diverses. Avant d'être mis en circulation sur le marché international, ils doivent se soumettre à des tests et réglementations bien définis qui garantissent leur sécurité d'un point de vue sanitaire comme environnemental.

Nommés en 2021 par le Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement Durable du Luxembourg, quatre chercheurs du LIST travaillent sur ces questions dans le cadre de trois groupes du Comité relatif aux produits chimiques et aux biotechnologies de l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE). Aux côtés de spécialistes internationaux, Arno Biber, Arno Gutleb, Tommaso Serchi et Ruth Moeller mettent ainsi leur forte expertise à profit pour favoriser la reconnaissance et la mutualisation de tests, standards, bonnes pratiques ainsi que de réglementations environnementales à l'échelle internationale.

Cette distinction internationale reconnaît les compétences réglementaires, scientifiques et techniques des chercheurs du LIST pour la gestion des dangers, de l'exposition ainsi que des risques inhérents aux produits chimiques, ou tout autre produit dit préoccupant. Depuis de nombreuses années, l'Institut soutient en effet les autorités nationales et européennes, les entreprises luxembourgeoises, et les activités de RDI pour la définition, l'implémentation, l'évaluation de réglementations environnementales ou encore la mise en conformité des entités.

« Depuis le début de la pandémie de COVID-19, nous traquons la présence du coronavirus dans les eaux usées. Notre méthodologie, dotée d'une grande sensibilité et fiabilité, est capable de visualiser où, quand, et en quelle concentration le SARS-COV-2 est présent au Luxembourg. Un intérêt sanitaire remarqué et salué par le Gouvernement, qui s'appuie sur les rapports hebdomadaires du LIST pour une gestion et prise de décision agiles depuis le début de la pandémie. »

Leslie Ogorzaly,
chercheuse en microbiologie
environnementale



2. CONTRIBUER À UN ENVIRONNEMENT SÛR ET SAIN GRÂCE À LA BIOTECH

La biotechnologie industrielle offre une nouvelle approche durable de la fabrication de produits chimiques et d'énergie à partir de ressources renouvelables, permettant la bioéconomie dite circulaire. Les ressources biologiques naturelles sont cruciales pour notre système économique, mais elles sont de plus en plus surexploitées pour la fourniture de nourriture, de matériaux et d'énergie. Par conséquent, la biotechnologie industrielle est intrinsèquement liée à la biotechnologie environnementale, qui vise à prévenir, arrêter et inverser la dégradation de l'environnement par une utilisation appropriée de la biotechnologie en symbiose avec d'autres technologies. Au LIST, nous menons au sein du Sustainable Biotech Innovation Centre des projets liés à la découverte et à la production de composés bioactifs respectueux de l'environnement, qui trouvent des applications dans une variété d'industries.

Dans le contexte de la pandémie de COVID-19, nous sommes également très impliqués dans le soutien aux acteurs publics et privés, notamment via la surveillance épidémiologique de la contamination de la population par le SRAS-CoV-2 mise en place pour soutenir la gestion de la crise sanitaire par le Gouvernement luxembourgeois.

— Success story #1 —

DÉTECTER DES AGENTS PATHOGÈNES VIRAUX ÉMERGENTS GRÂCE AUX APTAMÈRES

Outre la pandémie actuelle de SRAS-CoV-2, il existe un grand nombre d'épidémies virales liées à des virus d'origine alimentaire ou hydrique. Ces dernières années, nous avons assisté à une augmentation considérable du développement et du nombre de méthodes pour les détecter dans différentes matrices, reflétant la reconnaissance de l'importance accrue de ces maladies virales. Nous avons choisi d'étudier une solution de détection utilisant des aptamères. Un aptamère est un petit acide nucléique monocaténaire (ADN ou ARN) capable d'adopter une structure tridimensionnelle qui lui confère la capacité de se lier à sa cible avec une spécificité et une affinité remarquables. Les aptamères sont plus stables, plus rapides et moins coûteux à produire, et possèdent une durée de conservation plus longue et une plus grande spécificité vis-à-vis de leur cible que les anticorps correspondants.



Leslie Ogorzaly



Pamina Weber

Actuellement, aucune solution de détection intégrant les avantages des aptamères n'est disponible sur le marché. Pour améliorer la détection des maladies virales infectieuses, nous avons mené plusieurs projets visant à développer des aptamères spécifiques aux adénovirus. Ces projets ont abouti à un brevet qui ouvre maintenant de nouvelles perspectives de collaboration industrielle. Le fort potentiel d'applications des aptamères sur le marché du diagnostic a été confirmé grâce à une étude de marché qui nous a permis d'identifier de futurs partenaires potentiels pour la commercialisation de notre produit.

Success story #2

PRODUIRE DES MOLÉCULES VÉGÉTALES SUR MESURE ET À UNE ÉCHELLE PRÉINDUSTRIELLE

Les triterpènes sont des molécules naturellement présentes dans la pomme qui présentent un fort intérêt pour des applications cosmétiques et pharmaceutiques. Leur commercialisation a été largement entravée par le faible rendement des plantes et leur synthèse chimique impossible. Pour relever ce défi, les chercheurs du LIST ont développé une plateforme basée sur la biologie synthétique pour améliorer la production de triterpènes, ainsi que pour en produire de nouveaux avec des bioactivités nouvelles ou supérieures. L'équipe a ainsi réussi à modifier la voie métabolique dans les cellules de pomme et à développer une série de lignées cellulaires de pomme dont la composition en triterpènes a été modifiée. La production de lignées cellulaires génétiquement modifiées peut être mise à l'échelle dans des bioréacteurs dans des conditions de culture confinées. Elle est suivie de processus pour extraire et purifier les molécules souhaitées. Cette plateforme, partie intégrante du Sustainable Biotech Innovation Centre, a un grand potentiel pour produire des triterpènes sur mesure afin de répondre aux besoins industriels. En outre, la même stratégie peut être appliquée à d'autres espèces végétales pour personnaliser la production de diverses molécules d'intérêt.



Samuel Jourdan

Success story #3

VERS LA CRÉATION D'UN « BANC D'ESSAI D'INNOVATION OUVERTE » POUR LES NANO-PHARMACEUTIQUES

En 2021, le LIST et 10 partenaires (Organisations de recherche et PME issues de la biotech européenne) ont lancé PHOENIX, un projet d'innovation financé par le programme-cadre Horizon 2020 de l'Union Européenne (UE) visant à fournir des services pour le développement, la caractérisation, les essais, l'évaluation de la sécurité, la mise à l'échelle, la production et la commercialisation des nano-pharmaceutiques sur le marché, en les mettant à la disposition des PME, des start-ups, des laboratoires de recherche et des utilisateurs intéressés. Le projet, coordonné par le chercheur Tommaso Serchi au LIST, d'une durée de 48 mois, avec un budget total de 14,45 millions d'euros, dont une contribution de 11,1 millions d'euros de l'UE, vise notamment à l'établissement de bonnes pratiques de fabrication (BPF) dans la production nano-pharmaceutique à grande échelle : il s'agit d'une étape clé pour assurer le transfert des produits nano-pharmaceutiques du laboratoire au patient (du laboratoire à l'échelle industrielle). En effet, en raison du manque de ressources pour mettre en œuvre ces BPF sur site, la mise à l'échelle et la production de produits nano-pharmaceutiques innovants restent un défi pour les principaux acteurs du marché européen de la nano-médecine : les start-ups et les PME.

« Pour obtenir des prédictions efficaces et précises, interprétables physiquement, de variables environnementales clés, je suis fermement convaincu que nous devons combiner de nouvelles technologies telles que le *deep learning* avec une compréhension approfondie des capteurs, des processus physiques et des sciences environnementales.

Yu Li,
expert en classification des images de télédétection



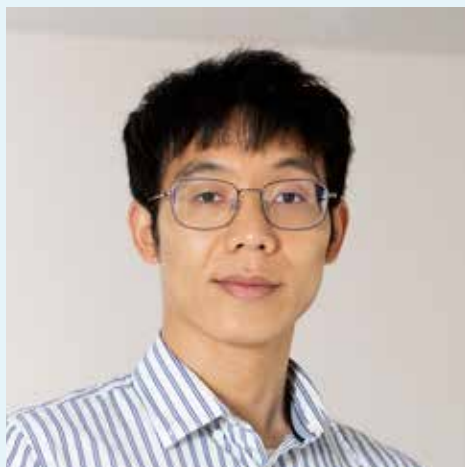
3. SURVEILLER, PRÉVOIR ET PRÉDIRE LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Aujourd'hui, les changements à l'échelle planétaire sont principalement dus à la demande croissante de l'humanité en ressources naturelles. Le système terrestre (c'est-à-dire le climat et l'environnement) fonctionne désormais dans un état sans précédent, où des changements imprévisibles et nuisibles sont de plus en plus probables. Bon nombre des technologies disponibles pour surveiller, prévoir et prédire les trajectoires futures du système terrestre souffrent de limitations qui ont entravé les progrès réalisés jusqu'à présent, en particulier lorsqu'il s'agit d'étudier, par exemple, l'accélération du cycle de l'eau et ses implications au niveau des différentes composantes des systèmes environnementaux. Alors que de nouvelles générations d'instruments ont été récemment mises au point, offrant des résolutions temporelles et spatiales et des taux de transmission sans précédent pour les protocoles de surveillance de l'environnement, il existe un besoin urgent de nouveaux outils adaptés à la collecte, la transmission, la validation, le stockage et l'exploitation des flux de données en augmentation rapide. Les nouveaux outils et les nouvelles solutions que nous tentons de mettre en place au LIST contribueront à terme à orienter les opérations d'intervention d'urgence, à arbitrer les intérêts économiques immédiats et à fixer les objectifs de développement durable à long terme, dans un contexte de plus en plus incertain et en évolution rapide.

Success story #1

SURVEILLER LES INONDATIONS À L'ÉCHELLE MONDIALE À L'AIDE DE DONNÉES SATELLITAIRES

Le 27 octobre 2021, le Joint Research Centre (JRC) a lancé l'outil « Global Flood Monitoring » (GFM) pour surveiller les inondations en cours dans le monde entier, dans le cadre du service de gestion des urgences Copernicus. Cet outil, unique par sa capacité à traiter toutes les données reçues par les satellites Copernicus Sentinel-1, permet d'aider à planifier et à coordonner les interventions d'urgence en cas d'inondations ou à soutenir l'aide internationale aux zones touchées. Par exemple, il a déjà été testé cet été pour développer des cartes des inondations qui ont frappé l'Europe en juillet 2021. Les chercheurs du LIST, Patrick Matgen, Ramona Pelich, Marco Chini, Renaud Hostache et Yu Li, ont mis au point l'un des trois algorithmes d'extraction des données satellitaires, les deux autres ayant été développés par l'Université technique de Vienne et le Centre aérospatial allemand. Le GFM produit au niveau mondial des cartes de surveillance des inondations en moins de 8 heures après l'acquisition de l'image par le satellite, avec une résolution spatiale de 20 m.



Marco Chini



Marine Pallez

Success story #2

MIEUX CIBLER L'UTILISATION DE FONGICIDES ET DE PESTICIDES

Dans l'agriculture de précision, les pesticides et autres produits sont utilisés précisément quand et où ils sont nécessaires. Depuis plusieurs années, le LIST travaille sur une série de projets intitulée « Sentinelle » avec le Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et du Développement Rural. Cette collaboration a été prolongée en 2021, et a permis de lancer en mai le modèle ShIFT (Septorla ForecasT) : un nouvel outil logiciel permettant la prévision de certaines maladies fongiques du blé d'hiver. Dans le nord-ouest et le centre de l'Europe, la septoriose est la maladie la plus destructrice du blé d'hiver. Elle se traduit par l'apparition de taches sur les feuilles de blé. Pour pouvoir lutter à temps contre cette maladie, les agriculteurs ont besoin de modèles de prévision pour savoir quand pulvériser du fongicide. Le modèle ShIFT, développé par le LIST, permet donc aux agriculteurs de mieux suivre cette maladie et de mieux protéger leurs cultures.

Success story #3

DES OUTILS DE SURVEILLANCE POUR UNE MEILLEURE GESTION DE L'EAU

Le LIST travaille sur de nombreux projets appliqués financés par l'Administration luxembourgeoise de la gestion de l'eau et le programme européen LIFE, qui ont donné lieu en 2021 à un portefeuille de publications de haut niveau traitant de l'utilisation d'échantillonneurs passifs polaires pour l'étude de problèmes urgents de gestion de l'eau. Les experts du LIST ont mesuré l'efficacité des stations d'épuration biologiques à éliminer les xénobiotiques, proposé un schéma d'évaluation de l'impact des micropolluants sur les eaux de surface, distingué les sources d'émissions urbaines de biocides et établi des bilans cohérents des émissions de pesticides dans les bassins versants agricoles. Cette recherche a également débouché sur le brevet d'un boîtier d'échantillonneur passif, ainsi que sur un essai biologique référencé - ouvrant de nouvelles possibilités de participation à des projets européens.



Tom Gallé

« Au sein de l'Union Européenne et au Luxembourg, la production d'électricité issue des systèmes photovoltaïques a considérablement augmenté ces dernières années. La production devient plus durable, mais aussi moins contrôlable en raison de la fluctuation du rayonnement solaire. La prévision de la production de l'énergie photovoltaïque est ainsi essentielle pour les gestionnaires de réseau et les fournisseurs d'énergie. »

Daniel Koster,
chercheur en Systèmes Energétiques
Durables



4. DÉVELOPPER DES SYSTÈMES D'ÉNERGIE PROPRES ET INTELLIGENTS

La demande croissante en énergie, la congestion du réseau, le manque de flexibilité du système électrique actuel, les nouvelles réglementations centrées sur l'utilisateur et les modèles économiques à venir nous obligent à revoir notre consommation énergétique conventionnelle et à trouver une alternative conforme à l'Accord de Paris, aux politiques énergétiques européennes et au Plan national intégré en matière d'énergie et de climat (PNEC) pour 2021-2030.

En 2019, le gouvernement luxembourgeois avait décidé de réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 55% (par rapport à l'année de référence 2005) et d'augmenter la part des énergies renouvelables à 25% d'ici 2030, pour in fine atteindre la neutralité carbone et une électricité 100% renouvelable en 2050.

Le LIST entend bien contribuer à relever ce défi dans les années à venir, en développant de nouveaux systèmes énergétiques pour la société et l'industrie, dans lesquels la production, les infrastructures et la consommation d'énergie propre sont intelligemment intégrées et exploitées (en une fraction de seconde) grâce à des plateformes numériques et des technologies de traitement de l'énergie avancées.

— Success story #1 —

POUR UNE MEILLEURE INTÉGRATION DE L'ÉLECTRICITÉ PHOTOVOLTAÏQUE DANS LES RÉSEAUX ET LES MARCHÉS

Dans le cadre du projet de recherche COMBI-CAST, le LIST, en collaboration avec Electricis, gestionnaire de réseau de distribution et fournisseur d'électricité de la région de Mersch (L), a développé un nouveau modèle combinant trois méthodes complémentaires afin de prévoir la puissance photovoltaïque dans une région donnée à très courte échéance et ce, au moyen d'algorithmes d'auto-apprentissage. Une telle prévision permettra aux parties prenantes de faire une meilleure prévision de la charge nette, mais aussi de réduire les coûts. Sur le long terme, cela augmentera les possibilités de commercialisation directe de l'électricité photovoltaïque. De plus, les gestionnaires de réseau pourront disposer d'un futur réseau intelligent leur permettant de mieux estimer les besoins en flexibilité de leurs réseaux et le fonctionnement optimal des options de flexibilité, par exemples le stockage ou encore la gestion de la demande.



Pedro Rodriguez



Florin Capitanescu

Success story #2

UN LABORATOIRE PERMETTANT DE FAIRE DES EXPÉRIMENTATIONS ET DES SIMULATIONS EN TEMPS RÉEL

En 2021, nous avons mis en place un laboratoire capable d'exécuter en temps réel des simulations à la même vitesse que les exécutions concrètes : une microseconde dans le domaine de la simulation est exécutée en une microseconde dans la vie réelle. Cela est particulièrement utile lorsque vous souhaitez évaluer l'interaction d'un système physique réel avec un système virtuel simulé dans un ordinateur en temps réel. Cette intégration du matériel dans le processus de simulation est ce que l'on appelle le hardware-in-the-loop (HIL).

Notre laboratoire peut être utilisé pour évaluer l'interaction de n'importe quel système physique générique (mécanismes, réacteurs, capteurs, etc.) avec n'importe quel environnement virtuel générique (scénarios de fonctionnement, bancs d'essai virtuels, perturbations, etc.). Grâce à la possibilité d'évaluer les performances de systèmes réels dans des conditions de fonctionnement génériques et contrôlables, avec un contrôle complet de tous les signaux, ce type de laboratoire est largement utilisé pour le développement et le test de systèmes dans les secteurs de l'aérospatiale, de l'automobile, de la bio-ingénierie et de l'énergie, car ils permettent de réduire les coûts, les délais et les risques grâce à la détection précoce des erreurs de développement dans les projets de R&D.

Success story #3

INTÉGRER D'AVANTAGE D'ÉNERGIES RENOUVELABLES DANS LE SYSTÈME ÉLECTRIQUE

Les systèmes de ressources énergétiques distribuées (RED) sont des technologies à petite échelle de production d'électricité telles que les panneaux solaires ou les éoliennes qui fournissent une alternative ou renforcent la puissance électrique traditionnelle. Alors que l'industrie et les ménages se tournent de plus en plus vers les RED pour compléter leur approvisionnement en énergie, les réseaux nationaux ou régionaux ne sont pas toujours conçus pour accueillir une production d'énergie renouvelable et décentralisée. Les entreprises énergétiques doivent désormais gérer, surveiller, entretenir des centaines de milliers d'actifs de petite taille et devront faire un effort pour mettre en œuvre des technologies intelligentes et prédictives telles que l'intelligence artificielle, le machine learning et les jumeaux numériques pour transformer cette masse de données en informations intelligibles.

Dans le cadre du projet TESTIFY, le LIST propose une nouvelle approche pour gérer l'ensemble du réseau électrique de manière sécurisée, en utilisant de manière optimale la flexibilité des ressources énergétiques distribuées et principalement des sources d'énergie renouvelables telles que le vent et le soleil. Le projet aborde de manière intégrée trois questions fondamentales : (i) comment quantifier la flexibilité disponible des RED, (ii) comment intégrer cette flexibilité dans la gestion de la sécurité des opérateurs de réseau, et (iii) comment formuler et résoudre les problèmes ci-dessus d'une manière mathématiquement cohérente et efficace. Le projet permettra d'intégrer davantage d'énergie renouvelable dans le système électrique de manière rentable tout en maintenant la sécurité du système.

« Beaucoup d'outils de gestion des risques existent à ce jour, mais aucune plateforme intégrée ne permet de réunir régulateur et entreprises régulées, d'aborder plusieurs régulations, de partager des bibliothèques sectorielles et d'analyser des données de risque sectorielles. La plateforme sur laquelle nous travaillons intègrera plus d'intelligence et de recommandations, et permettra aux régulateurs d'accéder à une maîtrise complète de l'écosystème des secteurs et acteurs concernés, pour plus de sécurité et de protection des services concernés. »

Nicolas Mayer,
chercheur en systèmes de données fiables



5. CONCEVOIR DES SYSTÈMES DE SERVICES FIABLES ET QUALITATIFS

Le LIST relève le défi de la qualité dans les systèmes de services aux entreprises. Fiabilité, sécurité des données, conformité aux réglementations et normes nationales et internationales, interface utilisateur, etc. : toutes ces qualités de services reposent à la fois sur les propriétés de l'infrastructure informatique utilisée, mais aussi sur des aspects liés à la qualité des applications déployées sur ces infrastructures, ainsi que sur les dimensions organisationnelles et les compétences humaines nécessaires à la fourniture des services.

Par ailleurs, dans un monde de plus en plus interconnecté, où les services fournis par une entité dépendront eux-mêmes de services fournis par d'autres entités, le concept de qualité de service doit être considéré comme une approche systémique appliquée à un écosystème global de services, et non plus au niveau d'un seul fournisseur de services isolé.

— Success story #1 —

UNE PLATEFORME DE RÉGULATION POUR LES OPÉRATEURS DE TÉLÉCOMMUNICATION ET DE SERVICES ESSENTIELS

Des télécommunications à l'énergie en passant par le secteur de la santé ou des transports, chaque entreprise est soumise à des réglementations qui encadrent son activité et tendent à prévenir tout type de risques. Si certaines s'intéressent à la sécurité environnementale ou la sécurité du personnel par exemple, la sécurité de l'information prend une place grandissante dans un monde de plus en plus digital. Pour assurer leur conformité vis-à-vis de ces réglementations, les entreprises doivent non seulement appliquer des bonnes pratiques, mais aussi gérer leurs risques, soumettre leurs analyses et déclarer leurs incidents. Un exercice fastidieux et complexe pour lequel il n'existe souvent pas de méthodologie claire, de bases de connaissance utiles, ou encore d'outil centralisé.

C'est ici que le LIST entre en scène. En étroite collaboration avec l'Institut Luxembourgeois de Régulation (ILR) depuis une dizaine d'années et l'Institut Belge des services Postaux et des Télécommunications (IBPT), les chercheurs du LIST ont en effet mis au point un prototype puis spécifié une plateforme de régulation du nom de SERIMA (de l'anglais : SEcurity Risk MAnagement). Conçue par le LIST et l'ILR, cette plateforme permet aux opérateurs de procéder à des analyses de risques, notamment dans le secteur des télécommunications et prochainement à tous les opérateurs de services essentiels. Grâce à cette instance, l'ILR interagit avec les entités dites régulées sur une même interface. Chaque entreprise concernée peut ainsi recevoir les notifications du régulateur, disposer d'une méthodologie commune pour effectuer des analyses de risque et déclarer des incidents en fonction des réglementations en vigueur. Les prochaines fonctionnalités concernant l'analyse systémique des risques sont en cours de conception et devraient permettre de franchir un nouveau palier, unique en Europe.



Sébastien Pineau



Success story #2

DÉTECTER LES DARK PATTERNS EN LIGNE

En 2021, le LIST a intégré le projet DECEPTICON avec l'Université du Luxembourg, un projet qui s'attaque à ce que l'on appelle communément les Dark Patterns, autrement dit aux éléments qui peuvent nous induire en erreur, nous manipuler et in fine nous pousser à prendre les mauvaises décisions, sans se rendre compte des conséquences. L'un des enjeux majeurs du projet est de pouvoir identifier ces Dark Patterns, quelle que soit la forme qu'ils prennent. L'idée est d'abord de comprendre qu'une phrase est écrite de manière suspecte ou erronée, et ensuite d'en identifier la cible car l'impact sera différent d'un utilisateur à l'autre. Le projet s'articule autour de quatre objectifs : créer une base de données en ligne afin de partager toute une série de connaissance sur les Dark Patterns ; distinguer la manipulation et la tromperie en ligne ; collecter des preuves sur les effets des Dark Patterns sur le comportement des utilisateurs ; et enfin développer des procédures et des outils pour évaluer la présence des Dark Patterns dans les services en ligne.

Success story #3

FACILITER LE DÉPLOIEMENT ET LA PÉRENNITÉ DE LA 5G

Le LIST est à la pointe de la recherche et de l'innovation sur les nouveaux réseaux de communication mobile, avec plusieurs projets menés en parallèle autour du déploiement et de l'adoption de la 5G, avec en ligne de mire ses futures évolutions et la 6G.

Un exemple représentatif de cette innovation est le projet 5G-EMIT, co-financé par le Service des médias, de la connectivité et de la politique numérique (SMC). Ce projet a pour objectif de faciliter le déploiement, la conformité et la durabilité de la 5G au Luxembourg en proposant de nouveaux modèles et technologies tenant compte des limites relatives aux champs électromagnétiques (EMF) produites par les installations 5G, dont les technologies sont bien différentes des précédentes générations. Un observatoire national public, affichant des mesures en temps-réel réalisées au sein du Luxembourg, ainsi qu'une solution de planification réseau recommandant des stratégies optimales de déploiement, sont en cours de développement. En outre, ce projet vise à utiliser le modèle du Grand-Duché comme banc d'essai pouvant potentiellement être reproduit dans d'autres pays à l'avenir.

La sensibilisation du grand public et des entreprises est également un domaine vital pour faciliter l'adoption des nouvelles technologies. Ainsi, le LIST a lancé et mis en place une plateforme de sensibilisation unique appelée 5G-PLANET – également co-financée par le SMC. L'idée de cette plateforme est de présenter et d'expliquer les technologies qui se cachent derrière la 5G, en prenant pour exemples des applications de mobilité et en développant une série de démonstrateurs – tous accessibles au plus grand nombre dès l'été 2022.

De nombreuses autres coopérations sont en cours, que ce soit dans les domaines de la sécurité, de l'optimisation ou de l'informatique périphérique. L'année 2021 a par exemple été marquée par le lancement du projet 5G-INSIGHT, une coopération entre le Luxembourg et la France sur la sécurisation des réseaux véhiculaires qui s'appuient sur la 5G dans des zones frontalières – ce qui en fait un cas idéal pour le Luxembourg.



« Grâce à notre solution de formation *in situ*, les utilisateurs gagnent en confiance directement sur leur poste de travail et les erreurs comme les dangers peuvent être évités via le retour d'information du système. »

Marie Gallais,
chercheuse en modélisation humaine



6. EXPLOITER LES DONNÉES AU PROFIT DE L'ÉCONOMIE ET DE LA SOCIÉTÉ

Notre monde produit des données à un rythme sans précédent. Grâce aux nouvelles approches de la science des données, cette quantité massive de données peut être exploitée au profit de l'économie et de la société. Cependant, les humains doivent être maintenus dans la boucle de ce nouveau paradigme. Nous nous concentrons alors sur la manière d'imaginer, de mettre en œuvre et d'évaluer différents types de méthodes et d'outils d'analyse des données que les gens peuvent comprendre et avec lesquels ils peuvent interagir. L'expérience utilisateur, la réalité augmentée et la visualisation sont donc des compétences clés dans lesquelles nous avons également une solide expérience pour maintenir le lien entre les données, les modèles et les personnes.

— Success story #1 —

UN ASSISTANT D'APPRENTISSAGE *IN SITU* INNOVANT POUR L'INDUSTRIE AVEC NO-NAIL BOXES

L'augmentation de la production est un point majeur dans le monde l'industrie. Lorsqu'elle est plus forte, il faut en effet plus de personnel, dont par exemple des employés externes qui ne connaissent pas nécessairement les machines sur lesquelles ils doivent travailler. Par conséquent, ils doivent être formés très rapidement. Cette problématique phare peut être résolue grâce à l'assistant d'apprentissage *in situ* développé par le LIST avec No-Nail Boxes, une société basée à Wiltz qui produit des boîtes pliantes en contreplaqué pour une grande variété d'industries. Ce projet innovant donne une nouvelle dimension au concept d'Industrie 4.0 avec la mise sur pied d'un assistant d'apprentissage *in situ* pour les machines à commande numérique par ordinateur, aussi appelées machines CNC.



Marie Gallais



Olivier Parisot

Success story #2

DES IMAGES ASTRONOMIQUES DE HAUTE QUALITÉ SANS PARASITES

Le Visuel Assisté en astronomie (Electronically Assisted Astronomy) est largement appliqué aujourd'hui pour observer les objets du ciel profond comme les nébuleuses ou les galaxies. En capturant des images à partir d'une caméra couplée à un instrument d'optique, cette approche vise à afficher sur un écran des vues améliorées des objets ciblés en quasi-temps réel, en opérant une phase de traitement d'images minimale. L'observation du ciel nocturne est ainsi plus accessible au grand public, et en particulier aux personnes ayant des difficultés à utiliser directement un télescope, par exemple à cause d'une mauvaise acuité visuelle.

Dans ce contexte et dans le cadre du projet MILAN (Machine Learning for Astronomy), le LIST et VAONIS, une entreprise française spécialisée dans le développement et la commercialisation d'une nouvelle génération de télescopes automatiques et intelligents, explorent ensemble comment les récentes approches de Deep Learning peuvent aider à produire des images propres et réalistes, même lorsque les conditions d'observation ne sont pas idéales. Ces fonctionnalités innovantes devraient aider l'entreprise à continuer à accroître sa compétitivité et son caractère unique sur le marché.

Success story #3

CONTRIBUER AU PAYSAGE EUROPÉEN DE LA RECHERCHE EN VISUALISATION

Les données des réseaux et des graphes sont omniprésentes dans les sciences, l'ingénierie et le monde des affaires. La manière d'analyser et de visualiser de grands graphiques reste souvent un défi. C'est pourquoi une équipe de chercheurs en visualisation du LIST a publié un livre complet sur la visualisation des réseaux multicouches avec des collègues internationaux. Intitulé « *Visual Analysis of Multilayer Networks* », ce livre est l'œuvre de Fintan Mc Gee, avec les contributions de Mohammad Ghoniem et Benoît Otjacques, tous trois chercheurs au LIST en visualisation des données. En identifiant les opportunités de recherche et en examinant les défis à relever en matière de visualisation de réseaux multicouches, les solutions potentielles et les futures orientations de recherche pour les résoudre, ce livre montre que le LIST est considéré comme un contributeur précieux au paysage européen de la recherche en visualisation.



Fintan McGee

« Nous avons ouvert la voie à une conception durable des matériaux composites, en combinant la modélisation et la simulation informatiques, basées sur la physique et les données, avec la génération, la reconstruction et l'analyse de la microstructure des matériaux. »

Claus Bayreuther,
responsable du groupe « Composite
modelling »



7. CONCEVOIR DES MATÉRIAUX COMPOSITES PERFORMANTS ET DURABLES

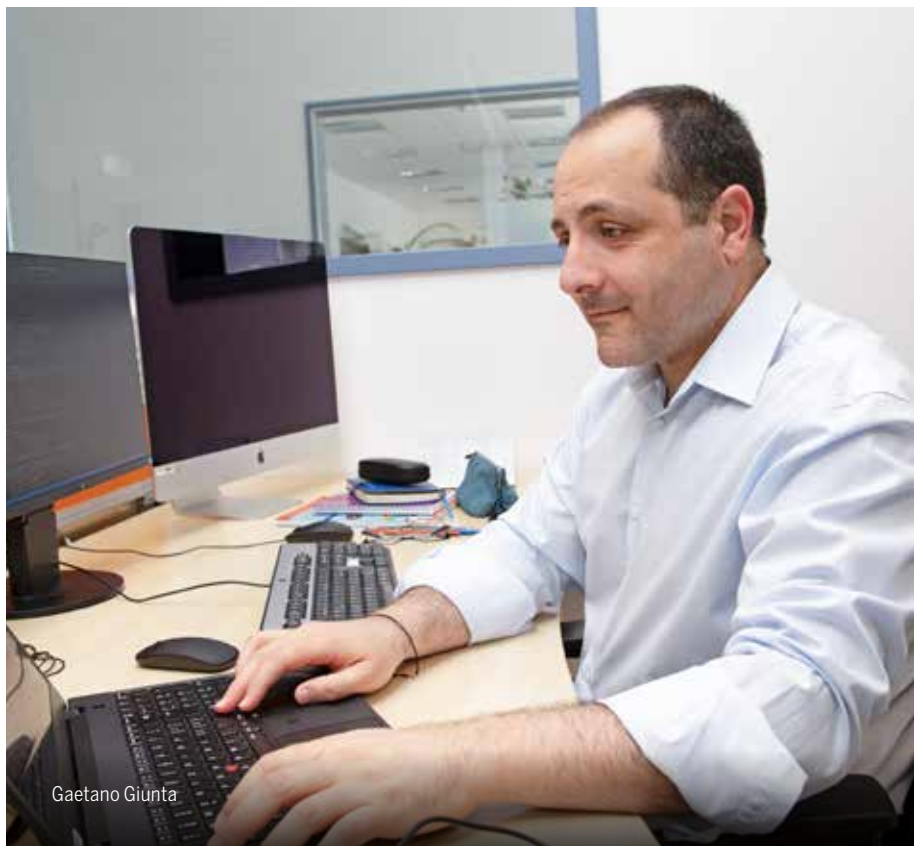
Le LIST vise à développer la prochaine génération de matériaux composites, en mettant l'accent sur leur durabilité et leur recyclage, sur des performances inégalées en termes de poids et de propriétés mécaniques, tout en optimisant l'élément central des matériaux composites : les interfaces fibre-charge/matrice. L'ensemble de la chaîne de développement est couverte, de l'ingénierie des matériaux à leur fabrication, en passant par l'optimisation de la conception et les tests fonctionnels. La combinaison de la modélisation et de l'expérimentation permet d'améliorer la prise de décisions éclairées, pour des matériaux composites plus performants et plus durables.

Success story #1

PRÉDIRE LES PERFORMANCES ET LES DÉFAILLANCES DES MATÉRIAUX À RIGIDITÉ VARIABLE

Les composites à rigidité variable (en anglais *Variable Stiffness Composite/VSC*) sont essentiels pour des applications qui intègrent légèreté et hautes performances, telles que l'aérospatial. Dans le cadre d'un projet de recherche mené par Gaetano Giunta, le LIST vise à développer un cadre théorique et une stratégie de modélisation multi-échelle capable à la fois de déterminer la meilleure configuration d'une structure VSC et de prendre en compte les principales exigences de fabrication ainsi que les imperfections induites par les procédés, dès la phase de conception.

Ainsi, l'équipe travaille sur le développement d'une stratégie de modélisation permettant de prédire les performances mécaniques de ces composites, tout en tenant compte des mécanismes de défaillance à l'échelle mésoscopique, c'est-à-dire intermédiaire entre l'échelle atomique et moléculaire.



Gaetano Giunta



Frédéric Addiego

Success story #2

UN LABORATOIRE PARTAGÉ PRODUISANT DES STRUCTURES ULTRALÉGÈRES POUR LE SECTEUR SPATIAL

Dans le domaine spatial, le poids représente une dépense onéreuse. Plus un produit destiné à être transporté dans l'espace est lourd, plus son coût sera important. L'estimation actuelle est d'environ 5 000 à 10 000 euros par kilogramme, ce qui signifie que toute perte de poids est financièrement avantageuse pour les entreprises qui envoient des satellites dans l'espace.

En 2021, le LIST a conclu un nouveau partenariat avec la société luxembourgeoise Gradel, afin de rechercher et de produire des structures ultralégères pour l'industrie aéronautique et spatiale en utilisant des polymères renforcés de fibres de carbone continues pour créer des structures 3D. Des pièces seront produites pour trois grands acteurs européens de la construction de satellites : Thales Alenia Space (France), Airbus Defence and Space (France) et OHB (Allemagne).

Success story #3

CONCEVOIR LES PNEUS DU FUTUR : UN PAS DE PLUS VERS UNE MOBILITÉ DURABLE

Dans le cadre du partenariat Goodyear-LIST, le plus important partenariat public-privé en matière de RDI qui ait jamais existé au Luxembourg, le projet CORUCOMP vise à étudier les mécanismes qui se produisent à l'interface entre la matrice en caoutchouc et le câble/fibre (qui joue le rôle d'agent de renforcement du pneu). Afin d'améliorer l'adhésion entre les cordes et le caoutchouc, les cordes sont enduites en utilisant les conditions de traitement et la solution d'immersion développées par Goodyear. Jusqu'à présent, les changements à l'interface corde-caoutchouc qui se produisent pendant le processus de vulcanisation du pneu et ensuite pendant les essais de fatigue dynamique n'étaient pas bien compris. Par conséquent, les chercheurs du LIST ont décidé d'étudier le lien entre les changements structurels et les propriétés phénoménologiques qui en résultent après le vieillissement thermique et la fatigue dynamique. L'élucidation des interactions entre la corde du pneu et la matrice en caoutchouc est d'un intérêt primordial pour la prochaine génération de pneus.

« Nous travaillons sur le stockage de l'énergie, et notamment sur la future génération de supercondensateurs basés sur les électrolytes polymères. L'énergie est en effet au cœur de la stratégie du LIST : qu'il s'agisse de sa production, de sa récupération, de son optimisation ou encore de son stockage. »

Stephan Westermann,
responsable de l'unité « Functional Polymers »



8. CRÉER DES MATÉRIAUX AUX PROPRIÉTÉS UNIQUES GRÂCE AUX POLYMÈRES FONCTIONNELS

Les polymères fonctionnels sont des macromolécules qui ont des propriétés uniques. Ils sont généralement peu coûteux et faciles à synthétiser. Au LIST, nous travaillons sur la synthèse, la formulation et le traitement des polymères afin d'obtenir des propriétés spécifiques améliorées et une multifonctionnalité par des approches expérimentales et numériques basées sur la physique, y compris la modélisation moléculaire. Notre recherche est basée sur deux axes : la réalisation de matériaux polymères durables, et la chimie et la physique des polymères intelligents et réactifs.

— Success story #1 —

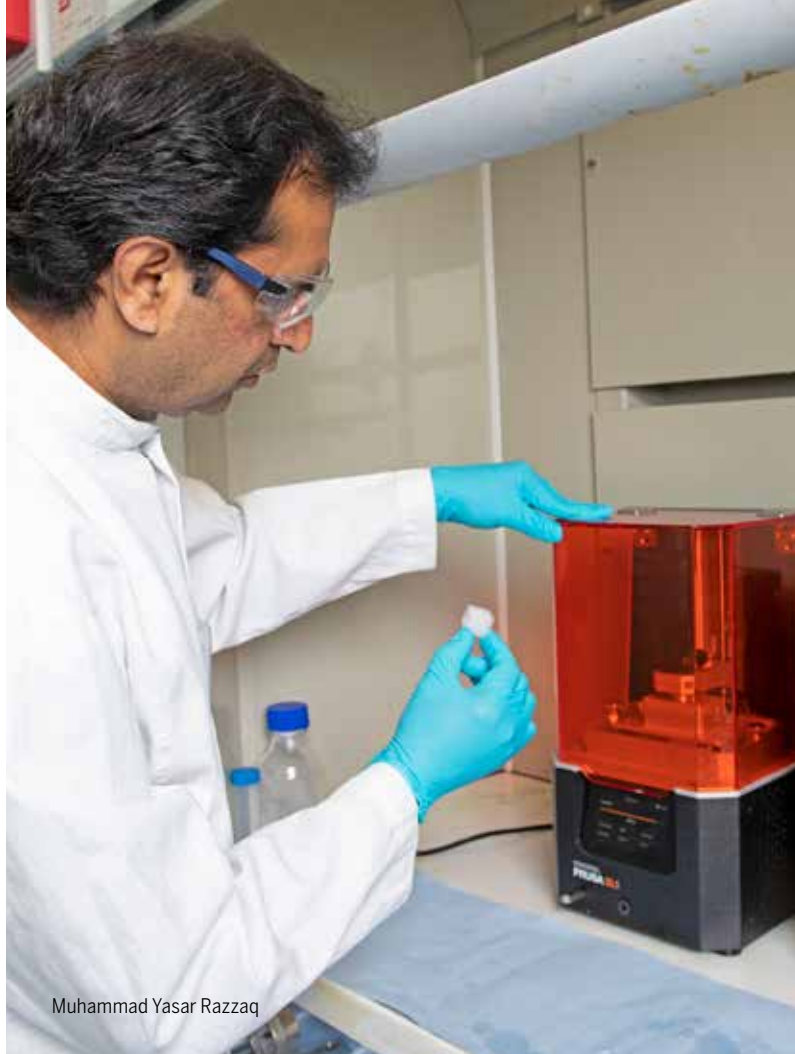
UNE NOUVELLE GÉNÉRATION DE PLASTIQUES D'ORIGINE RENEUVELABLE

Au cours des dernières décennies, une nouvelle génération de plastiques nommés polybenzoxazines a émergé du monde universitaire vers les industries. Ces matériaux sont devenus des alternatives prometteuses et durables aux résines existantes utilisées pour la production, par exemple, de matériaux haute performance dans les avions ou les fusées spatiales. Contrairement aux résines, les polybenzoxazines ne produisent pas de composés toxiques et peuvent être synthétisées avec des éléments d'origine biologique à la place de produits pétroliers. Si la recherche sur les polybenzoxazines est très répandue en Chine, ou aux États-Unis, ce n'est pas le cas en Europe, où seuls six instituts européens travaillent actuellement sur ces polymères. En tant que membre actif de ce réseau, le LIST consacre plusieurs projets de recherche à ce sujet.

En 2021, le chercheur Pierre Verge et ses collègues ont continué à construire la réputation du LIST dans la recherche de pointe sur les benzoxazines. Une collaboration a été initiée avec Gradel SARL pour développer des vitrimères de benzoxazine biosourcés et les adapter à un processus d'enroulement de filaments robotisé. L'équipe a également organisé le quatrième Symposium International sur les Benzoxazines, qui a attiré des scientifiques de haut niveau du monde entier et a fourni un excellent forum pour de nouveaux échanges dans ce domaine de recherche passionnant.



Pierre Verge



Muhammad Yasar Razzaq

Success story #2

L'IMPRESSION 4D : UNE NOUVELLE DIMENSION POUR LES POLYMÈRES

L'impression 4D est la possibilité d'imprimer un objet qui, au bout d'un temps prédéfini, pourrait changer de forme par l'effet d'un facteur externe comme la lumière, la chaleur, l'humidité, une vibration, etc. Les applications sont nombreuses, particulièrement dans le domaine médical, mais aussi dans ceux de la construction, de l'industrie ou de la mode. Les polymères sont au premier plan de ce bouleversement car ces matériaux futuristes seront forcément composites. C'est bien l'union de polymères avec d'autres matériaux, parfois naturels comme la cellulose de bois, qui donne aux objets leur capacité à changer de forme ou à réagir à un stimulus.

Le LIST travaille notamment sur les polymères à mémoire de forme, une famille de polymères compatibles avec la 4D. Ce sont des matériaux déjà bien connus dont les caractéristiques ont été modifiées pour avoir un effet de mémoire dynamique. Une fois stimulés (chaleur, électricité, lumière, etc.), ces polymères sont capables de passer d'une forme à une autre.

En 2021, le LIST a aussi poursuivi les efforts liés aux technologies de détection intégrées dans les polymères imprimés en 3D dans le cadre d'une collaboration industrielle avec le groupe Guala Closures.

Success story #3

ACCUEILLIR NOTRE PREMIER ÉTUDIANT FULBRIGHT

En 2021, nous avons accueilli notre premier étudiant soutenu par le programme Fulbright pour étudiants américains : Samantha Mannes, une étudiante du groupe du professeur Brett Compton de l'université du Tennessee à Knoxville, dont l'expertise spécifique est liée à l'impression 3D par écriture directe à l'encre. Le programme Fulbright, fondé en 1946, est l'une des bourses les plus reconnues et les plus prestigieuses au monde. Nous prévoyons une augmentation significative des capacités du LIST en matière de fabrication additive de polymères, et la concrétisation d'une base solide pour des développements complémentaires dans ce domaine. En outre, de tels accords contribuent à rehausser la stature du LIST au niveau international et ouvrent la porte à de futures collaborations avec un groupe de premier plan dans ce domaine.



Samantha Maness

« Les développements relatifs aux nanomatériaux sont nécessaires pour de nouvelles applications liées, entre autres, à la catalyse et au stockage de l'énergie, à la ferroélectricité, à la détection ultra-sensible de molécules ou biomolécules nécessaires à la mise en œuvre du concept de médecine personnalisée. »

César Pascual García,
chercheur et Ambassadeur du Conseil
européen de l'innovation (EIC)



9. EXPLORER L'INFINIMENT PETIT POUR DÉVELOPPER DES MATÉRIAUX AUX PROPRIÉTÉS EXTRAORDINAIRES

Détection de gaz ou de (bio)molécules, déformations mécaniques ou vibratoires, récupération, stockage et utilisation d'énergie : voici quelques exemples de propriétés extraordinaires rendues possibles par les nanotechnologies. Le LIST travaille sur le développement technologique de matériaux contrôlés à l'échelle nanométrique, qui, couplé à une chimie innovante de ces mêmes matériaux, permet de démontrer des propriétés d'autant plus remarquables qu'elles sont intégrées dans des dispositifs fonctionnels. Par ailleurs, l'ingénierie de nano-objets spécifiques ouvre la voie à des applications médicales de rupture (sondes, régénération osseuse, revêtements antibactériens, etc.) et à des matériaux nanocomposites complexes de haute performance.

— Success story #1 —

TRAVAILLER SUR LA PROCHAINE GÉNÉRATION DE FEUILLES DE CUIVRE

En 2021, Circuit Foil et le LIST ont signé un partenariat de 18 millions d'euros pour travailler sur la prochaine génération de feuilles de cuivre : le plus grand partenariat public-privé jamais signé entre une entreprise luxembourgeoise de taille moyenne et un centre de recherche public, soutenu par le Ministère de l'Économie, le Fonds National de la Recherche et le Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. Parmi les marchés visés par le partenariat LIST/Circuit Foil figurent la communication 5G et 6G, les matériaux composites en cuivre pour l'aéronautique et les batteries lithium-ion.

Une augmentation de la demande de cuivre est en effet attendue dans les années à venir. D'ici à 2030, la demande sera multipliée par 2,5 en volume, ce qui illustre clairement la pression qui s'exercera sur le cuivre en tant que ressource. D'importants investissements de recherche dans les technologies et la fabrication de feuilles de cuivre avancées sont essentiels pour saisir les fantastiques perspectives de ce marché, au service de la numérisation et de la transformation durable de notre société.



Anthony Valero et Julien Barbe



Success story #2

DÉTECTER LES PROBLÈMES DE SANTÉ GRÂCE AUX NANOTECHNOLOGIES

Afin de détecter, surveiller et traiter les problèmes de santé d'un patient, des dispositifs biologiques de haute performance, basés sur une optimisation fine des propriétés de surface, sont nécessaires. Il s'agit par exemple de biocapteurs ou de bioimplants. Compte tenu des progrès significatifs réalisés au cours de la dernière décennie, l'optimisation des propriétés de surface doit maintenant se faire à une échelle de l'ordre des molécules elles-mêmes. Le projet NANOSENS, porté par Sivashankar Krishnamoorthy et son équipe, vise à élaborer un produit de biodétection sophistiqué permettant de fournir des mesures sensibles, quantitatives et en temps réel de l'interaction d'un milieu biologique composé de biomolécules ou de cellules biologiques avec une interface nanostructurée. Le projet devrait permettre d'améliorer les performances des technologies médicales dans le domaine du diagnostic, du suivi et du traitement des maladies ou des problèmes de santé des patients.

Success story #3

LES MATÉRIAUX FERROÏQUES, AU CŒUR DE LA RECHERCHE INTERINSTITUTIONNELLE

Les matériaux ferroïques multifonctionnels présentent de nombreuses propriétés physiques telles que le magnétisme, la ferroélasticité ou la ferroélectricité, en raison desquelles ils sont considérés comme des matériaux « intelligents ». En 2021, l'Université du Luxembourg et le LIST ont créé le premier groupe de recherche interinstitutionnel (GRI) luxembourgeois : *Multifunctional Ferrioc Materials*. A travers les études que le GRI mènera sur ces matériaux, les scientifiques cherchent à comprendre ces propriétés physiques afin de mieux les contrôler. Les interactions - appelées couplages - entre de multiples propriétés sont à la base même des transducteurs modernes, des dispositifs qui convertissent l'énergie d'une forme en une autre. Le GRI est basé sur un programme de recherche d'intérêts communs qui se concentre sur les matériaux ferroïques sans plomb, plus respectueux de l'environnement que les matériaux industriels actuels à base de plomb, et sur l'effet de la lumière sur ces matériaux multifonctionnels.



Success story #4

DES CAPTEURS DE GAZ MINIATURISÉS ET EXTRÊMEMENT SENSIBLES

La capacité de façonner, de manipuler et d'assembler les matériaux à l'échelle nanométrique permet de développer des surfaces et des dispositifs fonctionnels sans précédent, en exploitant les propriétés particulières des systèmes nanométriques. Dans le cadre du projet CLASMARTS, le LIST a livré au cours de l'été 2021 un prototype permettant de réaliser le dépôt de couches minces nanostructurées assemblées en grappes sur des substrats appropriés en fonction des paramètres de la source. Le prototype CLASMARTS sera dédié à l'étude des films nanoporeux et de leurs propriétés de transport électrique. Le projet devrait ouvrir la voie au développement de capteurs de gaz hautement miniaturisés, dotés d'une sensibilité et d'une dynamique de réponse accrues avec une température de fonctionnement réduite.



10. CONCEVOIR UNE INSTRUMENTATION SCIENTIFIQUE DE POINTE

« Nous mettons l'accent sur des plateformes constituées de blocs de construction modulaires comprenant à la fois des étapes de synthèse et de caractérisation des matériaux, dans le but de mettre en place des infrastructures de synthèse automatisées capables de s'auto-optimiser en fonction de paramètres cibles prédéfinis. »

Tom Wirtz,
responsable de l'unité « Scientific Instrumentation »



Vitesse, résolution spatiale, sensibilité atomique ou analyse de données complexes et dynamiques. Nous aimons relever les défis posés par l'instrumentation scientifique et repousser les limites de cette ingénierie si particulière. Notre objectif : mettre au point de nouveaux instruments, procédés et méthodologies dans les domaines des sciences et technologies du plasma, du traitement des couches minces et de la nano-analyse.

— Success story #1 —

VERS UNE INSTRUMENTATION LASER DE POINTE

En 2021, le chercheur Alexandros Gerakis a reçu une bourse ATTRACT de 2 millions d'euros du FNR pour son projet FRAGOLA (FRequency AGile Optical Lattices). L'objectif du projet est de livrer une solution complète de diagnostic laser non-destructif des milieux ionisés. Il s'agira de la première démonstration en son genre de telles capacités, impliquant une compréhension approfondie de l'interaction lumière-matière.

Les techniques basées sur les lasers haute performance offrent de nombreux avantages, tels que la sélectivité des espèces et des mesures plus précises de leur température, de leur densité, de leur vitesse d'écoulement, etc.

Ce programme de recherche ATTRACT reconnaît l'intérêt stratégique d'investir dans les technologies les plus avancées de diagnostic et de manipulation de la matière grâce à des instruments laser de pointe. Il s'agit là de compétences essentielles pour le LIST, qui pourra accélérer, au cours des cinq prochaines années, ses connaissances en matière de contrôle intelligent des procédés de synthèse et de manipulation de points quantiques.



Alexandros Gerakis



Success story #2

UNE THÈSE DE DOCTORAT EXCEPTIONNELLE

Face à la crise énergétique et environnementale mondiale actuelle, l'une des pistes sur lesquelles travaille le LIST est le développement d'une nouvelle classe de matériaux pour la production propre et efficace d'hydrogène à partir de porphyrines. Les porphyrines sont des composés chimiques très répandus permettant la vie sur Terre : elles sont à la base de la photosynthèse chez les plantes et de la respiration chez les humains. Notre objectif est d'essayer de copier la nature et d'élaborer des polymères à base de porphyrine, et d'ainsi permettre d'autres réactions, telles que la production d'hydrogène propre.

Le chercheur Giuseppe Bengasi a remporté le FNR Awards 2021 pour sa thèse de doctorat. Pendant son doctorat, Giuseppe Bengasi et l'équipe de recherche dont il faisait partie ont inventé un procédé unique permettant la synthèse et le dépôt simultané de polymères de porphyrines sous forme de films minces. Le procédé peut être facilement transposé à l'échelle industrielle et convient au dépôt sur des substrats tels que le plastique et le papier. La méthode codéveloppée par Giuseppe Bengasi permet l'ingénierie des propriétés optiques et électroniques de polymères de porphyrines et ouvre la voie à leur utilisation dans l'électronique flexible et la catalyse. Parmi les applications possibles figure la production d'hydrogène propre. Si cette percée est réalisée, cette technologie pourrait soutenir une nouvelle économie bâtie non pas sur les énergies fossiles mais sur l'hydrogène.

Success story #3

LE NOUVEL INSTRUMENT NPSCOPE EST OPÉRATIONNEL

Les nanoparticules peuvent constituer des risques pour la santé humaine, l'environnement et la sécurité. Il est donc crucial d'identifier ces risques, de les étudier et de les circonscrire. Pour ce faire, il est nécessaire d'en effectuer une caractérisation physico-chimique adéquate. Cette caractérisation deviendra beaucoup plus aisée grâce au nouvel instrument npSCOPE, développé par une équipe internationale de chercheurs coordonnée par le LIST. En 2021, après 4,5 années de travail entrepris par 9 partenaires de 6 pays européens, le projet a pu être mené à bien. L'instrument npSCOPE est désormais pleinement opérationnel dans les laboratoires du LIST et offre une vision sans précédent des nanoparticules, ouvrant de nouvelles possibilités dans les études nano-toxicologiques.

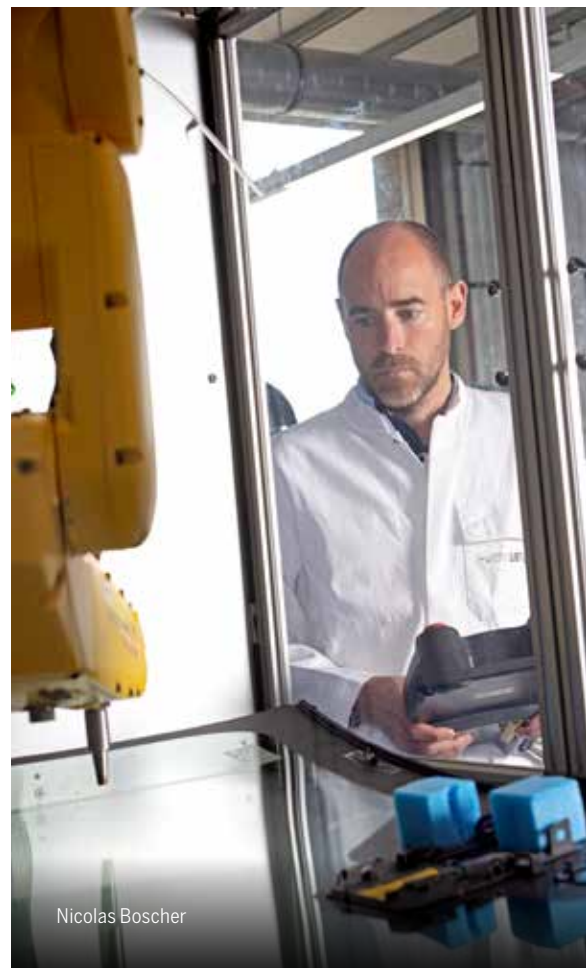
Success story #4

DES FILMS ANTIBUÉE POUR LES PARE-BRISÉS

Dans le cadre du projet DOMUS, financé par le programme-cadre Horizon 2020 de la Commission européenne, le LIST a développé avec succès une méthode de dépôt par plasma atmosphérique pour la préparation rapide et à basse température de films minces antibuée sur des pare-brises. La méthode et la formulation de la couche mince sélectionnée ont été mises en œuvre sur un pare-brise monté sur une voiture Toyota et testées dans une soufflerie. Mission réussie pour le LIST : la partie revêtue du pare-brise a montré une réduction significative de la buée.



Antje Biesemeier & Olivier De Castro



Nicolas Boscher

« Dans le cadre de l'utilisation des ressources spatiales, les questions de durabilité, d'économie circulaire, de préservation de l'environnement et de traitement des déchets sont centrales. Si les ressources spatiales offrent un moyen d'explorer la Lune et le système solaire de manière durable, le domaine des ressources spatiales peut également être un moyen de stimuler l'innovation sur Terre et de trouver de nouveaux moyens de relever les défis mondiaux.

Abigail Calzada Diaz,
chercheuse en ressources lunaires



11. PÉRENNISER LA PRÉSENCE HUMAINE DANS L'ESPACE GRÂCE AUX RESSOURCES SPATIALES

Les ressources spatiales seront clé pour l'avenir de l'exploration spatiale. Être en mesure de les utiliser est une étape cruciale pour pérenniser la présence humaine dans l'espace. Cela ouvrira également de nouvelles perspectives, notamment en termes de modèles économiques. Le European Space Resources Innovation Centre (ESRIC), alimenté par le LIST et l'Agence spatiale luxembourgeoise (LSA) avec l'Agence spatiale européenne (ESA) comme partenaire stratégique, a été établi en août 2020. Outre le développement d'activités de recherche le long de la chaîne de valeur des ressources spatiales, le centre soutient les initiatives commerciales d'acteurs établis et de startups, permet le transfert de technologies entre les industries spatiales et non spatiales et encourage les partenariats public-privé et les nouvelles initiatives dans le domaine des ressources spatiales.

— Success story #1 —

SOUTENIR LES START-UPS DU DOMAINE DES RESSOURCES SPATIALES

En 2021, ESRIC a lancé le Startup Support Programme (SSP) : le tout premier programme d'incubation au monde dédié à la thématique des ressources spatiales. En partenariat avec l'Agence Spatiale Européenne (ESA), l'Agence Spatiale Luxembourgeoise (LSA), le LIST et le Technoport (le principal incubateur technologique du Luxembourg), le programme vise à soutenir les start-ups en phase de démarrage dans le secteur des ressources spatiales, à développer leurs modèles commerciaux, à attirer leurs premiers clients et à garantir leurs premiers investissements.

La phase de préincubation, qui dure trois mois, permet à cinq start-ups sélectionnées de valider des concepts techniques et de les aligner avec les opportunités du marché. Elles bénéficieront d'un soutien en nature, tant pour les aspects techniques que commerciaux de leur projet. Après cette première phase de trois mois, le meilleur projet sera sélectionné pour une phase d'incubation de deux ans, pendant laquelle la start-up pourra confirmer sa proposition de valeur technique et développer davantage son modèle commercial. Un soutien technique et commercial supplémentaire sera fourni au cours de la phase d'incubation, et un financement sous forme d'une subvention pouvant atteindre 200 000 euros non remboursable sera alloué à la start-up.



Lari Cujko



Cedric Pruski, Marcos Da Silveira, Louis Deladiennée & Emmanuel Scolan

— Success story #2 —

DES PARTENARIATS AMBITIEUX POUR UNE FUTURE ÉCONOMIE DE L'ESPACE

ESRIC vise à devenir le centre d'expertise internationalement reconnu pour les aspects scientifiques, techniques, commerciaux et économiques liés à l'utilisation des ressources spatiales pour l'exploration humaine et robotique, ainsi que pour une future économie de l'espace. En s'associant à des acteurs internationaux publics et privés dans ce domaine, nous voulons créer un pôle d'excellence pour les ressources spatiales en Europe. Les deux collaborations lancées en 2021, avec Air Liquide et le Centre national d'études spatiales (CNES) d'une part, et avec Airbus Defense & Space d'autre part, sont très prometteuses pour l'avenir du secteur.

Le 7 juillet 2021, le CNES, l'Agence spatiale luxembourgeoise (LSA), le European Space Resources Innovation Centre (ESRIC) et Air Liquide ont signé une Lettre d'Intention confirmant leur volonté de collaborer pour le développement d'activités de recherche et technologie (R&T). L'objectif est de former, à l'horizon 2022, des équipes mixtes qui travailleront sur des projets de recherche concrets visant à développer des technologies clés pour la production et l'utilisation *in situ* des différents gaz nécessaires à une exploration spatiale plus durable.


Le 26 octobre 2021, ESRIC a signé un protocole d'accord avec Airbus pour collaborer sur les technologies d'extraction des ressources lunaires. Cela conduira au développement de technologies clés d'utilisation des ressources *in situ* (ISRU), dans les domaines du traitement des ressources et du recyclage des matériaux. Dans le cadre de ce partenariat stratégique, Airbus et ESRIC poursuivront le développement de technologies permettant de produire de l'oxygène sur la Lune et la production de matières premières à partir du régolithe et du recyclage des métaux, dans le but de réaliser un démonstrateur d'une future usine pilote ISRU. La capacité d'utiliser les ressources locales sera un élément clé pour maintenir une présence robotique et humaine durable sur la Lune.

— Success story #3 —

UNE PLATEFORME DE PARTAGE DES CONNAISSANCES À DESTINATION DE LA COMMUNAUTÉ DES RESSOURCES SPATIALES

En 2021, ESRIC a lancé un projet de création d'une plateforme de partage des connaissances pour la communauté des ressources spatiales. Cette plateforme devrait répondre aux motivations de la communauté, révélées lors d'une enquête menée entre avril et juillet 2021. L'une des principales attentes du secteur : avoir accès à une base de connaissances centralisée et facilement exploitable. Une équipe d'ingénieurs du LIST a donc commencé à travailler sur un outil de visualisation des données intégrant publications scientifiques, news, brevets, livres, articles de presse, documents législatifs ou encore posts de réseaux sociaux. La plateforme de partage des connaissances de ESRIC devrait présenter un grand intérêt pour les chercheurs, mais aussi mettre en évidence des opportunités commerciales pour les entreprises.





**NOS NOUVELLES
INFRASTRUCTURES
DE RECHERCHE**

Notre infrastructure de pointe est un des principaux atouts du LIST : la diversité et la qualité des équipements sont une véritable plus-value pour nos chercheurs, mais aussi pour nos partenaires qui peuvent ainsi mettre en commun leurs équipements afin de réduire les coûts et accélérer leurs agendas d'innovation.

En 2021, le LIST a poursuivi ses travaux d'expansion et de réorganisation des infrastructures de recherche et de technologie :

ZOOM SUR QUELQUES INFRASTRUCTURES CLÉS



- Pendant plusieurs mois, le LIST a aménagé, en collaboration avec le Fonds Belval, le nouveau bâtiment Aile Nord, Aile Sud situé à Belval. Début septembre, un premier groupe d'une vingtaine d'employés y a emménagé et installé ses laboratoires. Ce bâtiment de cinq étages a été rebaptisé « Maison des matériaux » et a pour vocation d'accueillir l'ensemble du département Matériaux du LIST ainsi que le European Space Resources Innovation Centre (ESRIC) d'ici 2024. La surface du bâtiment est un réel atout pour les équipes du LIST et laisse entrevoir des possibilités de croissance, d'acquisition de nouvelles machines et de nouveaux partenaires potentiels.
- Le Sustainable Biotech Innovation Centre, une installation d'innovation ouverte axée sur le développement de produits et procédés d'origine biologique et d'intérêt industriel, de nouveaux concepts de bioraffinage et de nouvelles technologies pour la détection et le traitement de la pollution environnementale, a continué de se développer grâce à la concrétisation des plans pour l'extension de ses infrastructures à Hautcharage. Le LIST devrait y accueillir des lignes pilotes courant 2022. Une telle infrastructure permettra au LIST de mieux servir ses partenaires industriels en leur permettant de tester des technologies innovantes dans un environnement de production pré-commerciale.



- L'infrastructure technologique «Artificial Intelligence & Data Analytics» (AIDA Lab) a été mise en opération. Issue du projet FEDER DAP, elle fournit un environnement de pointe pour accélérer la recherche et l'innovation en Intelligence Artificielle et en analyse de données pour le LIST et ses partenaires externes. Elle se base sur des technologies hybrides et agnostiques combinant aussi bien des solutions propriétaires qu'open-source, et s'appuie sur le mur de visualisation (Viswall) ainsi que sur l'infrastructure de calcul de haute performance (HPC) MeluXina.
- Les laboratoires ESRIC se sont développés grâce à l'acquisition de deux prototypes, fournis par l'Agence Spatiale Européenne (ESA), permettant d'extraire des ressources critiques de type eau, oxygène ou métaux à partir du régolithe. L'objectif est d'explorer des procédés physico-chimiques pour en comprendre les mécanismes, les optimiser et faire des recommandations pour une utilisation lors d'une future mission de l'ESA.







| **NOS COLLABORATIONS**

« Nous menons plusieurs projets de collaboration avec le LIST, par exemple nous essayons de découvrir l'âge de l'eau qui se trouve dans les rivières, ou encore nous compilons des données et publions un rapport après chaque inondation ou épisode de sécheresse. J'aime vraiment travailler avec le LIST. Ils ont des idées et des projets très intéressants. Je pense que nous pourrions travailler ensemble pendant longtemps. »

Christine Bastian,
Responsable du Service Hydrologie au sein de
l'Administration de la Gestion de l'Eau



TÉMOIGNAGES



« Le LIST est un excellent partenaire qui partage la même passion que nous pour la science. Nous avons les mêmes structures de gestion de projet, que nous avons créées ensemble. Nous avons donc le même objectif, le même calendrier et la même cadence de révision de nos avancées, ce qui nous a aidés à rester concentrés et à livrer dans les temps. »

Romain Hansen,
Directeur de la technologie d'innovation chez Goodyear



« L'innovation est le cœur de notre entreprise. Le LIST est arrivé chez No Nail Boxes avec un mode de pensée totalement différent : le LIST a une manière de penser, axée sur la recherche, qui était nouvelle pour nous. Ils ont posé de bonnes questions, ont proposé une approche intéressante... nous n'avions pas l'habitude de travailler ainsi. »

Stephane Guirsch,
Technical Manager chez No Nail Boxes

RECHERCHE BILATÉRALE

Si vous avez besoin d'une expertise spécifique ou si vous souhaitez utiliser les meilleures infrastructures de recherche, engagez-vous dans une collaboration bilatérale avec le LIST. Quatre types de collaboration bilatérale sont à votre disposition :

LE CONTRAT DE SERVICE

Pour des résultats qui vous aident à atteindre rapidement vos objectifs en matière d'innovation : nous partageons nos experts hautement qualifiés avec votre société.

Le contrat de service peut également couvrir la mise à disposition de nos infrastructures. Accédez à des laboratoires, de l'équipement et des méthodes de pointe afin de répondre à un besoin spécifique. Ainsi, vous tirez parti de notre expertise technologique, notamment en matière d'essais, de mesures, d'analyses, de gestion de l'innovation et de développement de méthodes ou de logiciels. Nous proposons une vaste gamme de services standardisés et réalisés sur mesure.

Dans le cadre du contrat de service, vous assumez l'ensemble des coûts mais disposez en retour de résultats rapides.

LE PROJET DE COLLABORATION

Il s'agit d'un contrat bilatéral dans lequel le LIST investit avec vous. Nous partageons avec notre partenaire nos ressources, notre expertise ou encore notre infrastructure, mais dans le cas du projet de collaboration les coûts d'innovation sont partagés, et la propriété intellectuelle revient aux contributeurs bien identifiés.

LE PARTENARIAT STRATÉGIQUE

Pour des résultats remarquables et durables qui nécessitent des compétences variées : nous définissons conjointement un contrat-cadre pour un partenariat stratégique de R&D à moyen ou long terme, basé sur votre feuille de route d'innovation. Il s'agit d'un contrat bilatéral avec éventuellement le recrutement de doctorants dédiés à votre projet de recherche. La propriété intellectuelle suit les contributeurs de l'invention.

LA « SPIN-OFF » OU LE « LICENSING »

Le transfert de technologies est une partie importante du processus de valorisation. Il implique le transfert de technologies vers le marché par la création de nouvelles entreprises (spin-off) ou par l'octroi de licences à des entreprises existantes. C'est ainsi que les innovations du LIST sont transformées en produits, en activité économique et en emplois de qualité. Le contrat peut prendre la forme d'une participation au capital, de royalties ou encore d'achat de licences.

RECHERCHE AVEC DE MULTIPLES PARTENAIRES : LES PROGRAMMES DE PARTENARIAT DU LIST

Le LIST facilite les synergies entre partenaires, en les rassemblant autour de ses compétences, de ses talents et de son infrastructure. Ce modèle de collaboration est la base des centres d'innovation du LIST. Le partage de l'expertise, de la recherche et des risques entre les partenaires, tout au long de la chaîne de valeur, permet de réduire les coûts pour l'ensemble des parties concernées. L'ensemble des partenaires, ainsi que leurs propres équipes de recherche, s'intègrent au LIST et bénéficient des atouts uniques qu'offre le LIST : une infrastructure de recherche et de technologie ouverte et des talents de premier plan.

Comment cela fonctionne-t-il ? Nous mettons en place un programme stratégique. Il s'agit d'un contrat multilatéral, avec un partage de la propriété intellectuelle entre les différents partenaires du projet.



« La passion pour l'impact du LIST rejoint la stratégie nationale de recherche et d'innovation. Le Tech Day, qui réunit des chercheurs, des entreprises et la société, offre une occasion idéale pour relever les nombreux défis de l'environnement et de l'économie, notamment dans les domaines d'expertise du LIST que sont la digitalisation et la durabilité. »

Claude Meisch,
Ministre de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche



PARTAGER NOS CONNAISSANCES AVEC LA SOCIÉTÉ ET LES ENTREPRISES

La connaissance et l'innovation sont de plus en plus reconnues comme des moteurs importants de la croissance économique, du développement social et de la création d'emplois.

Nous partageons nos connaissances et notre savoir-faire avec des chercheurs du monde entier, par exemple dans le cadre de symposiums et conférences scientifiques internationales, avec des acteurs des secteurs public et privé, mais aussi avec la société dans son ensemble. Ce partage de connaissance est libre de droits et permet de faire avancer la recherche et l'éducation scientifique, une valeur qui nous tient particulièrement à cœur.

LIST TECH DAY : UNE TROISIÈME ÉDITION RÉUSSIE

Sous le symbole de sa devise «Passion for impact», le LIST a célébré le 22 septembre 2021 la troisième édition du Tech Day, l'événement annuel de présentation des technologies du LIST, qui a rassemblé près de 300 personnes à la Maison des Arts et des Etudiants à Belval et plus d'une centaine d'autres à travers sa plateforme virtuelle.

Avant de dévoiler et présenter pas moins de 8 innovations technologiques phares autour des thématiques de la transition énergétique, de la transition numérique et des innovations technologiques globales, plusieurs orateurs nationaux et internationaux sont montés sur scène lors du Tech Summit.

Les participants, décideurs, chercheurs et représentants d'entreprises, ont ainsi pu découvrir le potentiel d'un partenariat avec une organisation de recherche et de technologies (RTO) telle que le LIST. Cette troisième édition du LIST Tech Day a une nouvelle fois démontré que le LIST accomplit parfaitement sa mission visant à stimuler l'innovation au Luxembourg et à en faire un endroit attrayant pour les entreprises et les chercheurs internationaux.



Thomas Kallstenius, Claude Meisch & Emanuele Barborini



A

- AdwäisEO
- Air Liquide
- Airbus Defense & Space
- Anisoprint
- Arcelor Mittal
- Armacell
- AXA Assurance Luxembourg

B

- BGL BNP Paribas
- BrighterBins

C

- CCB
- Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)
- Ceratizit
- Chambre d'agriculture Luxembourg
- Circuit Foil Luxembourg
- CLE
- Commission nationale pour la protection des données (CNPD)
- Convis
- Creos

D

- Direction de la Défense
- Direction de la Santé
- Domaines Vinsmoselle
- Dupont
- Dynaccurate

E

- Electricis
- Encevo
- European Space Agency (ESA)
- European Investment Fund (EIF)
- Everis

PARTENAIRES RDI AU LUXEMBOURG ET EN EUROPE

F

- Firis
- Fonds National de la Recherche (FNR)
- Forest Climate Change Fund (FCCF)
- Frewitt
- Frontier Connect

G

- GomSpace
- Goodyear
- Gradel
- Guala Closures

H

- Hap2u
- House of Entrepreneurship
- House of Training
- Hydrosat

I

- Institut belge des services postaux et des télécommunications (IBPT)
- IEE
- Institut de Formation Sectoriel du Bâtiment (IFSB)
- Incert
- Infrachain
- Institut luxembourgeois de régulation (ILR)
- Intrasoft international
- Institut Supérieur de l'Economie (ISEC)
- ispace

K

- Kronospan

L

- Laboratoire National de Santé (LNS)
- Luxembourg Institute of Health (LIH)
- Luxembourg Institute of Socio-Economic Research (LISER)
- Luxembourg Space Agency (LSA)
- Luxembourg Centre for Logistics and Supply Chain Management (LCL)
- Luxinnovation
- Luxmobility
- Luxplan
- Luxsense

M

- Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable (MECDD)
- Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESR)
- Met-Lux
- Administration des Ponts et Chaussées
- Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et du Développement rural
- Ministère de l'Économie
- Ministère de la Digitalisation
- Motion-S
- MPG
- Musée National d'Histoire Naturelle

N

- nhbs
- No-Nail Boxes

O

- OHB Luxspace

P

- Pierre Fabre
- PM-International
- Polygone
- POST Luxembourg
- Probiotic Group
- Proximus

R

- Research Luxembourg
- RoamsysNext
- Rotarex
- RSS Hydro

S

- Schroeder et associés
- Sciex
- Syndicat des eaux du barrage d'Esch-sur-Sûre (SEBES)
- SecurityMadeIn.lu
- Service des médias, de la connectivité et de la politique numérique (SMC)
- Syndicat intercommunal pour l'assainissement du bassin de la Chiers (SIACH)
- Sisaf
- Service Moyens Accessoires (SMA)
- SmartEnds
- Spacety

- ST Life augmented
- Succy

T

- Telindus

U

- Université du Luxembourg
- Université de Lorraine

V

- Vaonis
- Ville de Differdange
- Ville de Luxembourg
- Vitrocell

W

- Wagner-Schaffner
- Wasdi
- Westpole
- World Alliance

X

- Xnergi

Z

- Zeiss
- ZeroK Nanotech

1

- 3D-Oxides





| LE LIST EN BREF

THÈSES SOUTENUES

ABESSOLO ONDO Dominique :

"Plasma initiated chemical vapour deposition - from the growth mechanisms to ultrathin low-k polymer insulating layers", Université du Luxembourg, 15/07/2021

AMBROISE Valentin :

"Impact of long-term heavy metals exposure on cold acclimation in *Salix viminalis* roots", Hasselt University (B), 20/12/2021

ANTUNES AFONSO Vasu Prasad :

"Ozone Gas Sensors Based on Off-Stoichiometric Copper-Chromium oxide thin films", Université du Luxembourg, 13/10/2021

BABI ALMENAR Javier :

"Characterisation, biophysical modelling and monetary valuation of urban nature-based solutions as a support tool for urban planning and landscape design", Université de Bordeaux (F) /University of Trento (I), 27/01/2021

BALTAS Nicholas Gregory :

"Dynamic Stability with Artificial Intelligence in Smart Grids", University Loyola (SP), 30/09/2021

BAUSTERT Paul :

"Development of an uncertainty analysis framework for model-based consequential life cycle assessment", University of Eindhoven (NL), 20/04/2021

BEGGIATO Matteo :

"Nanoengineered Interfaces to Enhance Analyte Mass Transport and Analyte Capture - Towards High Performance Affinity Biosensors", Université du Luxembourg, 28/10/2021

DATTA SARMA Arpan :

"Enhancement of Vegetable Oil Functionality for Rubber-Composite Processing and Proper", Université du Luxembourg, 02/08/2021

DUHAIN Antoine :

"Cu-carbon nanostructured laminated foils: highly conductive materials with high ampacity for lightning strike protection", Université du Luxembourg, 23/11/2021

ELLIOT Thomas :

"The far-reaching impacts of urbanisation on ecosystem services and how we can tackle them", doctoral thesis, University of Lisbon (P), 14/01/2021

ENGANATI Sachin Kumar :

"Multiscale Characterization of Resorcinol Formaldehyde Latex adhesive in flexible rubber composites: Initial structure and evolution upon thermal treatment", Université du Luxembourg, 01/10/2021

FOETS Jasper :

"Ecohydrological Characterization Of Terrestrial Diatoms", University of Wageningen (NL), 13/04/2021

HASSOUNA Lilia :

"Interfacial covalent chemical bonding: towards thermoreversible adhesion", Université de Haute Alsace (F), 02/04/2021.

IMERI Adnan :

"Utilisation de la blockchain pour l'amélioration de la confiance dans les processus de logistique et de transport", University Paris-Saclay (F), Université du Luxembourg, 02/07/2021

JAGALUR BASHEER Hameeda :

“Carbon nanotube film as absorber for solar thermal energy harvesting”, Université du Luxembourg, 22/01/2021

JOBRAHE Mariem :

“The optimisation of an automated solar distillation-condensation system to produce drinking water from seawater and brackish water”, University of Gabes (TU), 27/05/2021

JOLY Raoul :

“Structuration of piezotronic junctions for ultrasensitive strain sensors”, Université du Luxembourg, 10/09/2021

MILESI-BRAULT Cosme :

“Old and new antiferroelectrics: Experimental studies of phase transitions in model materials”, Université du Luxembourg, 13/07/2021

NGUYEN Tai :

“Magnetolectric thin-film composites for energy harvesting applications”, Université du Luxembourg, 19/04/2021

NIEMCZYK Edyta :

“Plasma-induced polymerization of liquid layers for the synthesis and deposition of Interpenetrating Polymer Network films”, Université du Luxembourg, 03/12/2021

PRASADAM Vasu Prasad :

“Functional coatings based on MWCNT-Metal oxide nanocomposite for solar energy harvester application”, Université du Luxembourg, 19/11/2021

ROMERO AQUINO Nelson Marcelo :

“A Smart Assessment of Business Processes for Enterprises Decision Support”, Université de Lorraine (F), 18/11/2021

TORRES Jairo Arturo :

“Temporal uncertainty propagation analysis - A contribution towards sustainable urban water management”, University of Wageningen (NL), 08/06/2021

TREJO MACHIN Acerina :

“Design and Synthesis of Novel Benzoxazines to Replace Traditional Reinforcing Resins in Rubber Compounds”, Université du Luxembourg, 23/07/2021

WACK Sabrina :

“Chemical Vapor-Phase Deposition of Nanostructured Silver Layers”, Université du Luxembourg, 04/06/2021

WOLF Arnaud :

“An in-detailed investigation of the structure-to-property relationship between oligomeric performance resins and rubbers”, Université du Luxembourg, 08/07/2021

YAN Chuanyu :

“Advanced Characterizations of Silica Surface in Rubber Compounds by Solid-State Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy”, Université du Luxembourg, 07/10/2021

YILMA Bereket Abera :

“Personalisation in Cyber-Physical-Social Systems (CPSS)”, Université de Lorraine (F), 28/07/2021



CONSEIL D'ADMINISTRATION 2022



Photo de gauche à droite: Robert Kerger, Candi Carrera, Caroline Roch, Diane Wolter, Thomas Kallstenius, Marie-Christine Mariani, Etienne Jacqué, Tom Battin, Eva Kremer, Isabelle Kolber, Letizia Lukas, et Stéphane Jacquemart

OBSERVATEURS

Thomas Kallstenius

Directeur général

Stéphane Jacquemart

Président de la Délégation du personnel

COMMISSAIRE DU GOUVERNEMENT

Robert Kerger

Conseiller au ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche

SECRÉTAIRE ADMINISTRATIVE

Caroline Roch

Responsable du service juridique

MEMBRES DU CONSEIL D'ADMINISTRATION

Eva Kremer

Directeur adjoint de la Société nationale de crédit et d'investissement (Luxembourg), Présidente

Etienne Jacqué

Corporate R&D manager chez CEBI International SA (Luxembourg), Vice-président

Tom Battin

Professeur à l'École polytechnique fédérale de Lausanne (Suisse)

Candi Carrera

Country manager de Microsoft Luxembourg (Luxembourg)

Isabelle Kolber

Chef de laboratoire au SEBES (Syndicat des eaux d'Esch-sur-Sûre - Luxembourg)

Steve Kremer

Directeur de Recherche 1^{ère} classe à l'Institut national de recherche en sciences et technologies numérique de Nancy (INRIA - France)

Letizia Lukas

Managing director de exigo SA (Luxembourg)

Marie-Christine Mariani

CEO de MCM SARL (Luxembourg)

Diane Wolter

Présidente de la Fondation CBM Luxembourg (Luxembourg)

DIRECTION GÉNÉRALE



Dr Thomas Kallstenius
Directeur général

DÉPARTEMENTS RDI



Prof. Dr Lucien Hoffmann
Directeur, Environmental Research
and Innovation (ERIN)



Francesco Ferrero
Directeur, IT for Innovative Services
(ITIS)



Dr Kathryn Hadler
Directrice, European Space Resources
Innovation Centre (ESRIC)



Dr Damien Lenoble
Directeur, Materials Research
and Technology (MRT)

RESSOURCES HUMAINES



Kristel Wiliquet
Directrice des Ressources Humaines

FINANCE & ADMINISTRATION



Laurent Cornou
Directeur Administratif et Financier

APPROBATION DES COMPTES

Les comptes ont été audités par KPMG, cabinet de révision agréé, et approuvés par le Conseil d'Administration lors de sa séance du 23 avril 2021.

Le rapport financier complet est disponible sur www.list.lu

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 2021

Actif (en euros)	2021	2020
Actif immobilisé		
Immobilisations incorporelles	692.085,78	696.967,11
Concessions, brevets, licences, marques ainsi que droits et valeurs similaires	692.085,78	696.967,11
Immobilisations corporelles	28.649.828,80	27.440.114,82
Terrains et constructions	209.293,29	331.786,91
Installations techniques et machines	21.660.284,72	20.397.924,66
Autres installations, outillage et mobilier	2.461.630,58	1.380.744,02
Acomptes versés et immobilisations corporelles en cours	4.318.620,21	5.329.659,23
Immobilisations financières	468.832,74	468.832,74
Parts dans des entreprises liées	415.938,20	415.938,20
Créances sur des entreprises liées	-	-
Titres ayant le caractère d'immobilisations	52.894,54	52.894,54
Total de l'actif immobilisé	29.810.747,32	28.605.914,67
Actif circulant		
Stocks	512.659,04	488.118,66
Matières premières et consommables	512.659,04	488.118,66
Créances	33.273.972,55	32.031.272,11
Créances résultant de ventes et prestations de services	4.903.295,41	3.623.685,92
Autres Créances	28.370.677,14	28.407.586,19
Avoirs en banques, avoirs en compte de chèques postaux, chèques et encaisse	73.084.941,24	68.072.784,59
Total de l'actif circulant	106.871.572,83	100.592.175,36
Comptes de régularisation	1.350.809,81	1.120.581,48
Total du bilan (actif)	138.033.129,96	130.318.671,51
Capitaux propres et passif (en euros)	2021	2020
Capitaux propres	95.805.865,66	91.404.756,97
Dotations	37.518.673,70	37.518.673,70
Réserves	50.520.865,96	45.056.865,96
Résultats reportés	3.365.217,31	3.757.246,04
Résultat de l'exercice	4.401.108,69	5.071.971,27
Provisions	320.000,00	145.000,00
Dettes	37.574.449,82	37.933.013,71
Acomptes reçus sur commandes pour autant qu'ils ne sont pas déduits des stocks de façon distincte	27.774.252,04	28.490.069,33
Dettes sur achats et prestations de services	3.821.098,86	3.128.670,36
Autres dettes	5.979.098,92	6.314.274,02
Dettes fiscales	1.504.803,32	1.333.413,55
Dettes au titre de la sécurité sociale	1.750.617,65	1.659.690,77
Autres dettes	2.723.677,95	3.321.169,70
Comptes de régularisation	4.332.814,48	835.900,83
Total du bilan (capitaux propres et passif)	138.033.129,96	130.318.671,51

COMPTE DE PROFITS ET PERTES POUR L'EXERCICE 2021

	2021	2020
Chiffre d'affaires net	7.274.166,23	6.884.068,34
Autres produits d'exploitation	75.869.195,81	71.511.472,23
Matières premières et consommables et autres charges externes	-15.362.225,78	-14.506.072,71
Matières premières et consommables	-5.232.580,20	-5.644.615,43
Autres charges externes	-10.129.645,58	-8.861.457,28
Frais de personnel	-53.504.911,99	-50.634.886,13
Salaires et traitements	-47.217.795,12	-44.819.958,89
Charges sociales	-6.163.519,69	-5.702.174,75
couvrant les pensions	-3.731.276,38	-3.460.167,45
autres charges sociales	-2.432.243,31	-2.242.007,30
Autres frais de personnel	-123.597,18	-112.752,49
Corrections de valeur	-7.062.132,46	-5.498.544,43
sur frais d'établissement et sur immobilisations corporelles et incorporelles	-6.859.563,63	-5.451.531,47
sur éléments de l'actif circulant	-202.568,83	-47.012,96
Autres charges d'exploitation	-2.765.218,89	-2.663.409,01
Autres intérêts et autres produits financiers	16.071,38	15.285,22
provenant d'entreprises liées	-	-
autres intérêts et produits financiers	16.071,38	15.285,22
Corrections de valeur sur immobilisations financières et sur valeurs mobilières faisant partie de l'actif circulant	-	-
Intérêts et autres charges financières	-63.835,61	-35.942,24
concernant des entreprises liées	-	-
autres intérêts et charges financières	-63.835,61	-35.942,24
Résultat après impôts sur le résultat	4.401.108,69	5.071.971,27
Résultat de l'exercice	4.401.108,69	5.071.971,27



IMPRESSUM

Editeur

Luxembourg Institute of Science and Technology

Mise en page

Luxembourg Institute of Science and Technology

Crédits photographiques et iconographiques

Olivier Minaire, Olivier Dessy, FNR, Luxembourg Institute of Science and Technology

© LIST, Esch-sur-Alzette | Juin 2022

Suivez-nous sur les réseaux sociaux



www.list.lu

TECH
DAY
2021

EMBOURG'S DIGITAL TWIN

www.list.lu

TECH
DAY
2021

COMMUNICATI
TRANSPARENT AN