

ENSEMBLE POUR UNE TRANSITION EFFICACE

RAPPORT ANNUEL 2022

LUXEMBOURG
INSTITUTE OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY

LIST



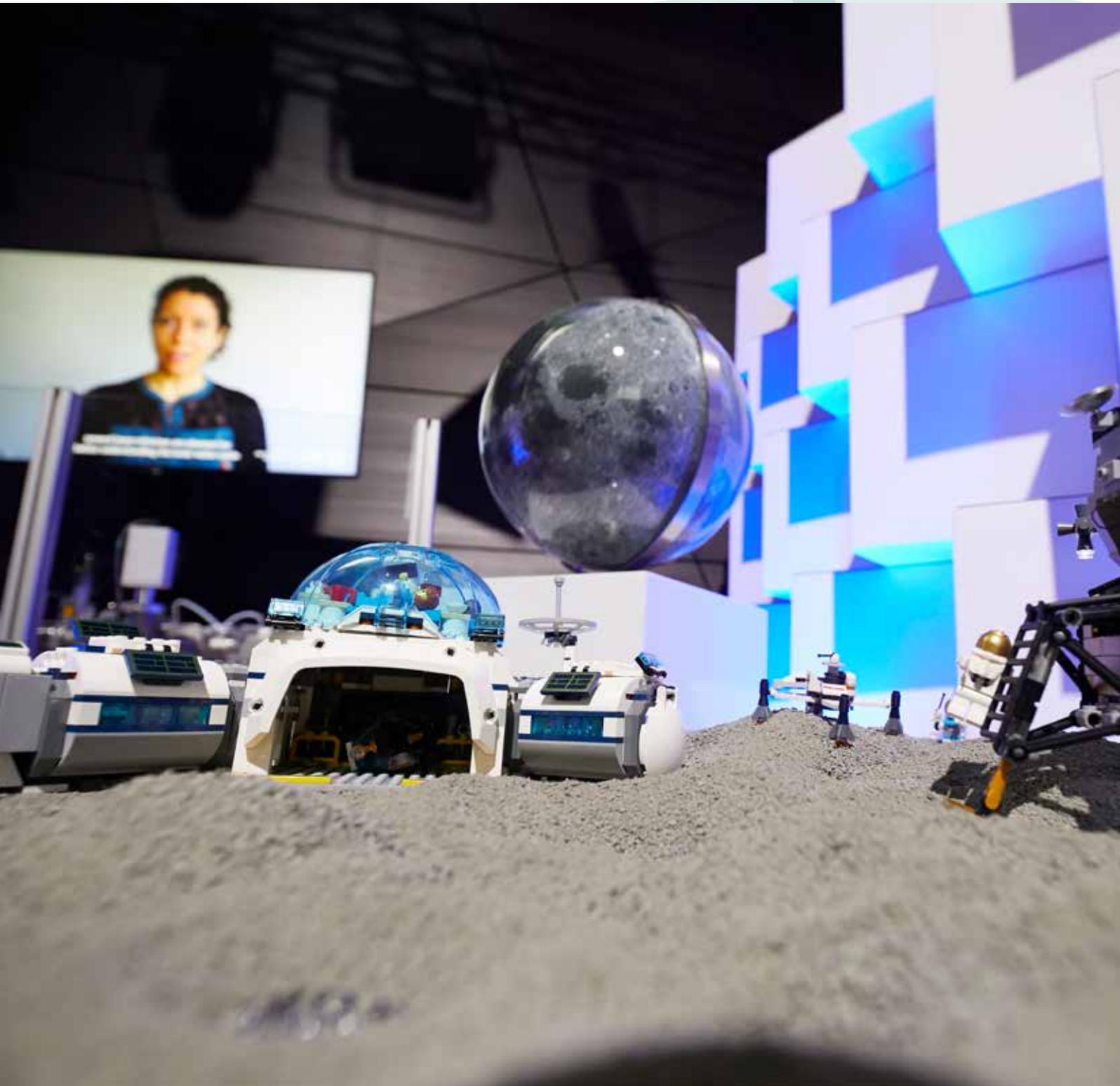




TABLE DES MATIÈRES

ÉDITORIAL	2
CHIFFRES-CLÉS	4
Ressources Humaines.....	6
Science et transfert.....	6
Projets R&D en cours en 2022.....	7
Collaborations Internationales.....	8
NOS ENGAGEMENTS	9
Un LIST où il fait bon vivre et travailler.....	10
Un LIST où tout le monde est le bienvenu.....	10
Un LIST où la qualité et la sécurité priment.....	11
Un LIST engagé dans la conception durable.....	11
Un LIST où l'éthique est de mise.....	11
NOS RECHERCHES & NOS INNOVATIONS	12
Accompagner la transition vers un environnement exempt de substances toxiques.....	14
Les biotechnologies au service d'une croissance et d'un développement durables.....	16
Détecter les effets du changement climatique pour une meilleure gestion des risques.....	18
Elaborer des systèmes intelligents pour une transition énergétique propre.....	20
Concevoir les solutions technologiques de pointe pour répondre aux besoins numériques.....	22
Concevoir la prochaine génération de systèmes numériques interconnectés.....	24
5G : Ouvrir le champ des possibles.....	26
Digital Upskilling : Préparer le marché du travail aux compétences de demain.....	27
Concevoir la prochaine génération de matériaux composites.....	28
Un centre d'innovation pour les matériaux et procédés composites.....	30
Utiliser les polymères fonctionnels comme vecteur d'innovation.....	32
Développer de nouvelles nanoparticules multifonctionnelles.....	34
Six ans de partenariat gagnant avec Goodyear.....	36
Renforcer notre influence internationale dans le domaine des nanotechnologies.....	38
Repousser les limites de l'instrumentation scientifique.....	40
Utiliser l'hydrogène vert pour franchir les dernières étapes de la décarbonation.....	42
Accélérer l'utilisation des ressources spatiales.....	44
NOS NOUVELLES INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE	46
NOS COLLABORATIONS	50
Témoignages.....	52
Nos modèles de collaboration.....	53
Partager nos connaissances avec la société et les entreprises.....	54
Partenaires RDI au Luxembourg et en Europe.....	58
LE LIST EN BREF	60
Thèses soutenues avec succès.....	62
Gouvernance.....	64
Bilan financier.....	66

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

ENSEMBLE POUR UNE TRANSITION EFFICACE

L'urgence climatique combinée à la flambée des prix de l'énergie que l'Europe a connue en 2022 a donné un nouvel élan à la recherche d'alternatives à faible teneur en carbone et à la transition vers un système énergétique plus durable et plus sûr sur l'ensemble du vieux continent. De nombreux États membres européens, dont le Luxembourg, prennent désormais des mesures actives pour augmenter la production d'énergie verte tout en cherchant à diversifier les approvisionnements en pétrole et en gaz et en réduisant la demande globale.

Le gouvernement luxembourgeois participe activement à ce mouvement de transformation. Au début de l'année, il a annoncé sa volonté d'intensifier son engagement dans l'action climatique en proposant une mise à jour du plan national pour l'énergie et le climat (*Energie- a Klimaplang fir Lëtzebuerg*). Le nouveau plan prévoit une augmentation sensible de la part des énergies renouvelables dans la consommation globale d'énergie, qui passera de 25 % à 37 %, le renforcement des mesures actuelles et le lancement de nouvelles initiatives pour assurer une «transition juste».

Toutefois, les défis à relever pour réussir la transition énergétique sont considérables, en particulier dans le domaine technologique. Citons par exemple les difficultés d'accès aux matières premières dans la chaîne d'approvisionnement, qui sont essentielles pour les technologies vitales de décarbonisation, et le développement d'un réseau numérique sécurisé capable de supporter le déploiement de la production variable d'énergie renouvelable, les ressources énergétiques décentralisées et les menaces émergentes telles que les cyberattaques. Face à ces enjeux, l'expertise en matière de recherche et d'innovation (R&I) que le LIST a développée ces dernières années, en particulier dans le domaine des jumeaux numériques et des systèmes énergétiques, des matériaux pour la production et l'utilisation de l'hydrogène et des procédés de biométhanisation, prend une nouvelle importance. Ensemble, avec nos partenaires privés et publics, nous contribuons à accélérer l'innovation au Luxembourg et à créer de nouvelles solutions qui peuvent favoriser la transition énergétique et, plus largement, la transition durable.

En 2022, nos 676 collaborateurs ont poursuivi notre mission : repousser les limites de la recherche pour des innovations à fort impact, tout en maintenant une approche *Sustainable by Design*, c'est-à-dire en concevant de manière intelligente des produits, des services et des technologies dont les conséquences sur l'environnement sont réduites autant que possible.

Faire laboratoire commun avec des partenaires industriels

Au cours de cette dernière période, le LIST a signé 18 nouveaux accords de collaboration, dont la plupart portent sur la transition énergétique ou contribuent à réduire l'impact environnemental de nos partenaires. Il s'agit notamment de l'accord avec Encevo/Creos sur la transformation du réseau énergétique s'appuyant sur une utilisation accrue des données liées à l'énergie, de ceux avec CLE ainsi que Schroeder et Associés dans le domaine de la construction durable, de l'accord avec Gradel sur les composites légers respectueux de l'environnement, et de l'accord avec FM Global sur la résilience climatique. Le protocole d'accord avec Meluxina, le supercalculateur luxembourgeois à haute efficacité énergétique, est également une étape essentielle dans la stratégie de calcul à haute performance du LIST.



L'inauguration du centre d'innovation dédié aux procédés et matériaux composites durables (Sustainable Composite Materials and Manufacturing Innovation Center – SCMM) par notre département Materials Research and Technology (MRT) est un signal fort du LIST de répondre aux besoins futurs du marché des transports qui fait face à sa plus grande transformation historique. Ce programme est soutenu par quatre acteurs majeurs du transport européen, à savoir Toyota, Airbus, Thales Alenia Space et Alstom, et est financé en partie par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche et le Ministère de l'Economie. En avril 2023, Euro-Composites et Gradel sont devenus les deux premiers membres adhérents du centre d'innovation.

Lors du Tech Day 2022, le LIST et Goodyear ont salué les résultats impressionnants obtenus dans le domaine des matériaux et des sciences des données au cours des six années du plus grand partenariat public-privé créé au Luxembourg. Les deux partenaires ont signé un protocole d'accord pour mettre en place un deuxième partenariat stratégique.

Accélérer l'innovation par l'excellence scientifique

Fidèle à sa mission de transfert de l'innovation et d'accélération de l'impact économique pour l'industrie, le LIST a créé la spin-off Invitrolize qui vise à détecter les irritants respiratoires chimiques à un stade précoce du développement de nouveaux produits.

L'excellence scientifique reste au cœur des ambitions du LIST, comme en témoignent les 123 projets compétitifs nationaux, les 57 projets compétitifs internationaux et les 162 projets collaboratifs en cours en 2022, ainsi que les 180 publications scientifiques figurant parmi les 10 % les plus importants de leur catégorie.

En termes d'excellence, le Dr Kathryn Hadler, scientifique de renommée internationale dans le domaine du traitement et de la valorisation des minéraux, soutenue par une chaire PEARL du Fonds National de la Recherche (FNR) du Luxembourg dotée de 3,7 millions d'euros sur cinq ans, a été nommée Directrice du département ESRIC (Centre européen d'innovation pour les ressources spatiales) à compter du 1er avril 2022.

Unir nos forces au service de la société

Dans le cadre de projets de recherche, le LIST et le Laboratoire National de Santé (LNS) se sont unis pour travailler sur des solutions innovantes dans les domaines des pathogènes microbiens, de la sécurité alimentaire, de la toxicologie, de la santé environnementale et du biomonitoring humain.

Le LIST a poursuivi ses analyses du SRAS-CoV-2 dans les eaux usées et a publié son 110e rapport à la fin du mois de décembre. Ces études se prolongent en 2023.

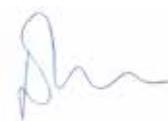
Enfin, le LIST a signé sa convention pluriannuelle 2022-2025 avec l'Etat luxembourgeois et a vu sa dotation progresser de 18 % pour cette période. Cette signature confirme la stratégie du LIST telle que définie dans le programme de travail pluriannuel 2022-2025. Ce dernier prévoit huit objectifs visant à accroître l'impact économique, politique, environnemental, social, régional et académique du LIST.

Le LIST a également produit son rapport d'auto-évaluation dans le cadre d'une évaluation externe pour le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et a été évalué par un panel d'experts scientifiques et de l'innovation sélectionnés par le cabinet de conseil Interface.

Développer les compétences de demain

En plus des 25 thèses soutenues avec succès en 2022, le LIST a dirigé la création de deux nouvelles unités de formation doctorale (DTU) financées par le programme PRIDE du FNR dans les domaines des matériaux fonctionnels (DTU HYMAT) et des composites polymères durables (DTU SusPoCo), cette dernière ayant été lancée en collaboration avec le Département d'ingénierie (DoE) de l'Université du Luxembourg. Parallèlement, le LIST a également collaboré avec le Centre for Contemporary and Digital History (C²DH) de l'Université du Luxembourg pour lancer une troisième unité de formation doctorale dans le domaine de la science des données profondes de l'histoire numérique. Grâce à ces unités, un total de 17 doctorants seront formés au LIST sur une période de quatre à six ans.

Dans ce rapport, nous sommes particulièrement heureux de présenter les succès de nos collaborateurs engagés et talentueux, sans lesquels nous ne pourrions pas contribuer à relever les défis mondiaux et à assurer une transition durable efficace. Avec le nouveau Directeur Général *ad interim* du LIST, Dirk Fransaer, nommé début juin après le départ de Thomas Kallstenius, le Conseil d'administration et l'ensemble de nos collaborateurs entendent poursuivre dans cette voie au cours des années à venir, en s'appuyant sur les résultats obtenus jusqu'à présent.



Eva KREMER
Présidente du Conseil d'administration



Dr Thomas KALLSTENIUS
Directeur général





| CHIFFRES CLÉS

Au 31/12/2022

collaborateurs | **676**

66 %
hommes



34 %
femmes



54
nationalités


77 %chercheurs ou
spécialistes de
l'innovation

RESSOURCES HUMAINES

Pour l'ensemble de l'année 2022

114 | personnes
recrutées

100 | doctorant·e·s
accueillis au LIST



SCIENCE ET TRANSFERT

27 | **R**
BREVETS
DÉPOSÉS


7spin-offs
(existant depuis
3 ans ou plus)**19**licences
payantes**178**articles
scientifiques
dans revues
1^{er} quartile**25**thèses de doctorat
défendues avec
succès



123

projets
compétitifs
nationaux



57

projets
compétitifs
européens

7,24 %

de revenus en
prestation de services

162 

projets collaboratifs
et assimilés

Σ 428

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) 679

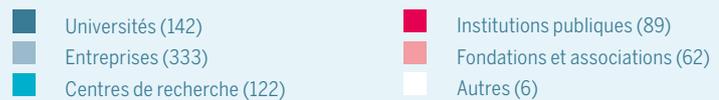
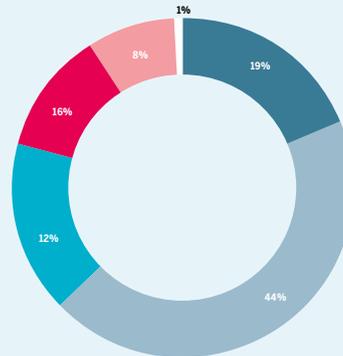
Allemagne	77
Autriche	27
Belgique	66
Bulgarie	12
Chypre	8
Croatie	8
Danemark	16
Espagne	81
Estonie	3
Finlande	16
France	111
Grèce	37
Hongrie	8
Irlande	12
Italie	63
Lettonie	5
Lituanie	7
Malte	2
Pays-Bas	40
Pologne	14
Portugal	28
Roumanie	4
Slovaquie	3
Slovénie	11
Suède	10
Tchéquie	10

HORS UE 71

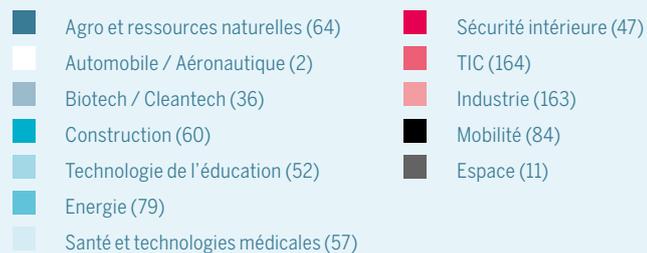
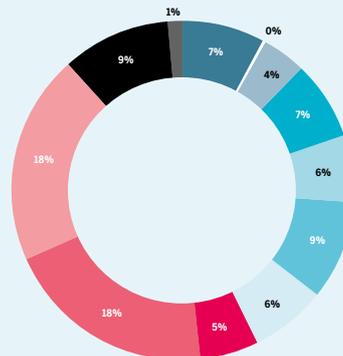
Albanie	1
Corée	2
Estonie	3
États-Unis	4
Islande	2
Israël	4
Japon	1
Norvège	5
Royaume Uni	33
Serbie	3
Suisse	6
Turquie	6
Uruguay	1

COLLABORATIONS INTERNATIONALES

RÉPARTITION PAR TYPE DE PARTENAIRE DES PARTENARIATS EN COURS EN 2022



COUVERTURE PAR MARCHÉ DES PARTENARIATS EN COURS EN 2022





| **NOS ENGAGEMENTS**

UN LIST OÙ IL FAIT BON VIVRE ET TRAVAILLER

Au LIST, notre capital le plus précieux est notre personnel. C'est pourquoi nous y accordons la plus grande importance. Nous mettons en place de nombreuses initiatives afin d'assurer le bien-être et une santé mentale positive pour l'ensemble des collègues de l'institut. Cela se traduit notamment par des efforts importants d'amélioration du confort des employés dans nos bâtiments, et plus particulièrement dans les open-spaces : cloisonnement, création de micro-salles de réunion, fourniture de casques anti-bruit, rédaction d'un code de conduite, etc.

Le LIST investit énormément dans la formation continue de l'ensemble de ses collaborateurs. Une offre étoffée a été mise à disposition aussi bien au niveau technique, des soft skills et du bien-être. Ces formations se présentent soit en ligne, en présentiel ou hybrides. Elles sont adaptées aux différents profils de notre organisation, qu'ils soient acteurs directs ou indirects dans le domaine de la recherche et de l'innovation.

En juin, 60% de nos collaborateurs ont répondu à la première enquête permettant au LIST de disposer d'un baromètre social représentatif du ressenti de ses salariés. Cette enquête a pour but de mesurer la probabilité que nos employés recommandent le LIST comme un lieu de travail agréable et permet de mieux comprendre les « moteurs » qui influencent leur satisfaction et engagement. A la question : « Sur une échelle de 0 à 10, suis-je prêt à recommander le LIST pour y travailler ? », 68% des répondants ont attribué une note de 7 à 10 ; le score moyen étant de 7,1 sur 10.



NOS ENGAGEMENTS



UN LIST OÙ TOUT LE MONDE EST LE BIENVENU

Au LIST, nous faisons de notre diversité une force. Nous nous engageons en faveur de l'équité dans le recrutement, le développement de carrière et l'équilibre entre vie professionnelle et vie privée de nos collaborateurs. Afin de développer encore plus ces domaines, nous participons au programme Actions Positives du ministère de l'Égalité entre les femmes et les hommes (MEGA). Un groupe de travail a été créé et un plan d'action a été élaboré pour travailler sur les axes d'amélioration. Ce plan sera examiné et validé par le ministère.

En outre, dans le cadre de la mise en œuvre de notre stratégie de diversité et d'inclusion, nous avons lancé un programme de formation pour nos managers, les membres des comités de recrutement ou encore les nouveaux arrivants : introduction au domaine, gestion d'une équipe diversifiée et inclusive ou préjugés inconscients. Un programme de formation générale sur les différents domaines de la diversité, de l'équité et de l'inclusion a également été suivi par l'ensemble de nos collaborateurs.

En termes de visibilité externe, le LIST, Luxinnovation et de Widong ont lancé une campagne de posters dans le cadre de la journée nationale de la diversité. Pendant deux semaines, 47 portraits de collaborateurs de 37 nationalités différentes ont été exposés aux fenêtres de la Maison de l'Innovation à Belval. Cette exposition a été accompagnée d'un site web et d'une campagne sur les réseaux sociaux qui ont présenté le projet, son idée et son contexte au grand public. Enfin, pour la deuxième année consécutive, le LIST a été sponsor officiel de la Pride Week, qui a célébré le mouvement LGBTIQ+ au Luxembourg.

Nous participons également de manière régulière aux différents groupes de travail de l'IMS, qui ont notamment permis de développer un programme de formation en ligne sur la communauté LGBTIQ+.

Enfin, nous avons poursuivi le travail commun avec les autres instituts de recherche luxembourgeois, le FNR et l'Université pour améliorer la situation professionnelle des chercheuses au Luxembourg et augmenter l'attractivité du pays en tant que lieu de travail pour les scientifiques.



Michaël Janes, Jean-Paul Schmit, Hugo-Pierre Corrado & Maxime Chopin

UN LIST OÙ LA QUALITÉ ET LA SÉCURITÉ PRIMENT

Depuis plusieurs années, nous avons fait de la sécurité une de nos priorités. En 2022, si 41 incidents ont été déclarés, l'objectif zéro est atteint dans les laboratoires où aucun accident n'est à déplorer.

Pour suivre au mieux toutes les activités qui touchent à l'hygiène, la sécurité et l'environnement au travail, mais aussi au risque et à la conformité, nous avons désormais à disposition un tout nouveau portail. Ce dernier offre aux collaborateurs un environnement facilitant la création de flux de travail et permettant la dématérialisation des formulaires et des processus, tels que l'acquisition d'équipement scientifique ou la mobilité d'équipements entre laboratoires, le processus d'évaluation des risques liés à la santé, la sécurité et l'environnement, la gestion des incidents et la gestion des accidents de travail, l'inspection sanitaire ou encore les contrôles réglementaires et changements d'autorisation. Cette nouvelle plateforme supporte toute la gestion de la documentation interne, de la création d'un document à sa publication.

Au-delà de la sécurité de nos employés nous avons poursuivi nos efforts en matière de sécurité des systèmes d'information avec notamment la mise en place d'un nouvel antivirus et des adaptations du réseau. Nous avons renforcé notre politique de bureau propre incluant des éléments de sécurité.

UN LIST ENGAGÉ DANS LA CONCEPTION DURABLE

Au LIST, nous nous engageons à montrer l'exemple en matière de durabilité tant dans nos activités de recherche que dans notre mode de fonctionnement quotidien. Le groupe de travail 'Sustainability' a publié son rapport sur notre empreinte carbone en 2021 et l'évolution des impacts environnementaux de l'institut en termes d'émissions de gaz à effet de serre depuis 2019. Principale conclusion du document : le LIST a vu son empreinte carbone réduite de 8% en 2021 par rapport à 2019, année de référence de l'institut pour mesurer les réductions d'émissions. Notre objectif implique une réduction de 24 % d'ici 2025 par rapport à 2019.

Au vu du contexte géopolitique international de 2022, un nouvel objectif à court terme s'est ajouté. Il s'agissait de réduire de 15% la consommation énergétique du LIST afin de répondre à une demande du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (MESR) à la suite de l'accord de réduction de gaz naturel de l'Union Européenne. Nous avons donc pris des mesures techniques pour plus de sobriété énergétique au LIST et sensibiliser l'ensemble de nos employés aux comportements individuels que chacun d'entre eux peut facilement adopter.

Parmi les autres faits marquants de l'année en matière de durabilité, notons la nomination d'Elorri Igos au poste de « Sustainability Officer », la sensibilisation à la mobilité douce au travers de l'application MUV et la participation au Tour du Duerf, ou encore le don de 50 ordinateurs portables usagés à l'association luxembourgeoise Digital Inclusion qui œuvre pour aider les plus démunis à avoir accès aux technologies de l'information et à l'informatique.



Sivashankar Krishnamoorthy, Estelle Fischer, Benoît Otjacques (absents : Anne Trigaux, Sébastien Cambier)

UN LIST OÙ L'ÉTHIQUE EST DE MISE

Au LIST, nous mettons un point d'honneur à respecter les droits fondamentaux et à appliquer les normes éthiques les plus appropriées. Notre Comité d'éthique a traité 47 demandes, dont 42 liées au processus de soumission de projets de recherche. Nous avons mené une réflexion sur les activités du LIST dans le domaine de la sécurité et de la défense pour lequel plusieurs projets de recherche ont été proposés.

Le Comité d'éthique du LIST se compose de six employés venant de différents services, qui sont formés à cette mission très importante.



Elorri Igos





**NOS RECHERCHES &
NOS INNOVATIONS**

« Jusqu'à présent, le seul moyen fiable d'évaluer la sensibilisation respiratoire consistait à faire observer par des médecins l'apparition de personnes sensibilisées sur leur lieu de travail ou à leur domicile. Notre solution vise à surmonter les limites actuelles en améliorant et en optimisant le modèle alvéolaire *in vitro*. Pour les produits chimiques naturels ou artificiels, nous pouvons prédire s'il existe des sensibilisateurs respiratoires. »

Arno GUTLEB,
Leader of the Environmental Health Group



1. ACCOMPAGNER LA TRANSITION VERS UN ENVIRONNEMENT EXEMPT DE SUBSTANCES TOXIQUES

Les substances chimiques sont omniprésentes dans notre vie quotidienne. Elles entrent dans la composition de presque tous les dispositifs que nous utilisons. Les produits chimiques servent de base aux technologies, matériaux et produits à faible teneur en carbone, sans pollution, économes en énergie et en ressources, dont nous avons besoin pour rendre notre société et notre économie plus durables. En même temps, ces substances chimiques possèdent des propriétés néfastes pour la santé humaine et l'environnement.

Au LIST, notre but est d'évaluer les effets toxiques involontaires des solutions à faible teneur en carbone, de prédire les effets nocifs des produits chimiques sans pour autant recourir à l'expérimentation animale, et d'améliorer la réutilisation des déchets pour assurer une transition efficace et fluide.

— Success story #1 —

PRÉVOIR LES EFFETS NOCIFS DES SUBSTANCES CHIMIQUES SANS RECOURIR À L'EXPÉRIMENTATION ANIMALE

Prédire l'impact des produits chimiques sur notre santé sans avoir recours à des tests sur animaux, telle est l'ambition de Invitrolize, une spin-off du LIST fondée en juin 2022 et inscrite à la Chambre de Commerce du Luxembourg. L'entreprise commercialise des modèles *in vitro* alvéolaires 3D innovants permettant de prédire les risques de sensibilisation et d'irritation respiratoires. Pour la première fois, ces modèles peuvent être utilisés pour prédire la sensibilisation respiratoire dans des conditions d'exposition réalistes.

La spin-off est installée dans un laboratoire du bâtiment Belvaux et développe ses activités à la manière d'une start-up dans le but d'améliorer durablement l'évaluation de la toxicité des produits chimiques et de leur impact sur la santé.

Lors de la 2e journée nationale 3R, la Ligue Nationale pour la Protection des Animaux (Lëtzebuerger Déiereschutzliga) a d'ailleurs décerné un prix pour la contribution du LIST et de son équipe « Environmental Health » afin de réduire, remplacer ou perfectionner de manière significative l'utilisation d'animaux dans la recherche, grâce au développement de ces tests *in vitro* des voies respiratoires humaines.



Sabrina Burla & Arno Gutleb



Oona Freudenthal

Success story #2

VERS UNE MEILLEURE ÉVALUATION DES SUBSTANCES CHIMIQUES POUR LA SANTÉ HUMAINE ET L'ENVIRONNEMENT

Depuis 2022, le LIST occupe le siège luxembourgeois au sein du Comité d'analyse socio-économique (SEAC) de l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA). Nommée par le Ministère de l'Économie, Oona Freudenthal contribue au travail du SEAC dont le rôle est d'évaluer les impacts socio-économiques des mesures législatives potentielles à l'égard de substances chimiques, qu'il s'agisse de propositions de restriction concernant la fabrication, la mise sur le marché ou l'utilisation d'une substance, ou encore de la disponibilité, du caractère approprié et de la faisabilité technique des alternatives à l'utilisation de telles substances dangereuses.

En collaboration avec le département IT for Innovative Services en vue d'une application de l'Intelligence Artificielle (IA), Oona a également commencé en 2022 une recherche dans le cadre d'un partenariat privé-public financé par la Fondation AXA. Son projet de recherche vise à aider les autorités et les décideurs politiques à mettre en place un cadre réglementaire approprié pour ces substances et à mieux gérer les risques qu'elles présentent pour la santé humaine et l'environnement. Les résultats de ce projet de recherche permettront de mieux comprendre les risques posés par les substances chimiques pour les clients industriels, la santé publique et les citoyens. Cette combinaison entre un projet de recherche appliquée et une mission de mise en œuvre d'une politique fondée sur la science renforce les activités et l'offre de soutien politique du LIST en matière de sécurité et de durabilité par la conception (Safe and Sustainable by Design).

Success story #3

TRANSZEROWASTE, AMÉLIORER LA RÉUTILISATION DES DÉCHETS COMME MATIÈRE PREMIÈRE

La dépendance de l'Europe à l'égard des ressources sidérurgiques importées s'accroît et met en péril les objectifs de décarbonisation de l'industrie. Pour garantir l'indépendance de ce secteur, mais aussi sa compatibilité avec les objectifs de décarbonation, nous poursuivons, aux côtés de nos partenaires européens, un objectif ambitieux d'optimiser le recyclage des résidus sur l'ensemble de la chaîne de production de l'acier, tant d'un point de vue techno-économique qu'environnemental.

Le projet Horizon Europe TranszeroWaste, coordonné par le LIST, vise à améliorer la réutilisation des déchets comme matière première dans deux processus prometteurs pour la décarbonisation du secteur, en utilisant l'hydrogène et l'électricité. Le LIST va au-delà de l'évaluation des performances technico-économiques de ces nouvelles technologies de recyclage et prend en compte leur éco-conception et leur évaluation environnementale afin de garantir des choix plus durables. À long terme, ces solutions innovantes ouvriront la voie à une chaîne de production d'acier qui non seulement dépendra moins des importations, mais qui sera aussi plus circulaire et plus respectueuse de l'environnement.



Elorri Igos

« Dans un futur où il y aura des avant-postes martiens, les gens devront cultiver des plantes *in situ* en utilisant des ressources que l'on peut réellement trouver sur Mars, comme les régolites. Il est donc nécessaire de comprendre comment les plantes réagissent d'un point de vue physiologique lorsqu'elles sont cultivées sur ce type de substrat. Nous sommes allés jusqu'à un maximum de quatre semaines pour voir comment les plantes se comporteraient sur simulants de régolithe martien et elles poussent effectivement, mais, comme prévu, elles montrent des signes de carence nutritionnelle. »

Gea GUERRIERO,
Senior Research and Technology Associate



2. LES BIOTECHNOLOGIES AU SERVICE D'UNE CROISSANCE ET D'UN DÉVELOPPEMENT DURABLES

La biotechnologie industrielle et environnementale se trouve à la convergence de nombreuses disciplines scientifiques et d'ingénierie avec l'objectif de fournir des solutions techniques ayant un impact sur plusieurs secteurs économiques. La recherche en sciences du vivant et les biotechnologies apportent d'ores et déjà des améliorations concrètes dans les domaines de l'agroalimentaire, la qualité de l'eau et des sols, les produits chimiques, les énergies renouvelables ou encore la santé publique.

Au LIST, nos projets de recherche visent à produire de manière biologique des produits chimiques et des enzymes de grande valeur à partir de cellules végétales et de microbes par des opérations de fermentation et de récupération; de valoriser la biomasse en fin d'utilisation et d'autres flux de déchets provenant des chaînes d'approvisionnement agroalimentaire en tant que source de bioénergie, de biopolymères et de composants chimiques pour des applications innovantes et commercialement intéressantes; de développer de nouvelles technologies pour la surveillance de l'environnement; et d'élaborer, tester les performances et évaluer économiquement des schémas de biofabrication et des technologies modulables.

Success story #1

FAIRE UN PAS VERT SUR LA PLANÈTE ROUGE

Selon la feuille de route internationale pour l'exploration spatiale, les premières installations humaines sur la planète Mars sont prévues d'ici 2040. La culture de plantes comestibles *in situ* sur les surfaces martiennes ou lunaires générera de l'oxygène tout en produisant de la nourriture pour les visiteurs et futurs colons. L'eau émise et purifiée par les plantes pourra être condensée et recyclée. En ligne avec la stratégie nationale de recherche et d'innovation et ses objectifs axés sur les ressources spatiales pour le maintien de la vie, le LIST a commencé à étudier la croissance des plantes sur les simulants du régolithe martien en utilisant une combinaison d'imagerie et de omique. Le ray-grass italien a été utilisé comme modèle d'espèce herbacée à croissance rapide.

Les équipes de recherche ont montré que les plantes peuvent pousser sur les simulants de régolithe, malgré la rareté de l'élément fondamental qu'est l'azote. Elles peuvent même repousser après avoir été coupées. Le ray-grass peut donc être utilisé dans un scénario hypothétique où il est fauché pour obtenir de la matière organique à amender. Les données moléculaires obtenues ont pour la première fois montré des changements dans le mécanisme de la plante dont les feuilles et les racines se sont adaptées au substrat de croissance. Les résultats publiés dans Science of The Total Environment ont suscité l'intérêt de l'Open Science Data Repository (GeneLab) de la NASA et ont été mises en avant dans la lettre d'information Mascot.



Roberto Berni



Mario Plattes

Success story #2

TRAITER LES EAUX USÉES PAR UN PROCÉDÉ DE TRAITEMENT BIOLOGIQUE GRANULAIRE

Les boues granulaires aérobies sont aujourd'hui une alternative au procédé conventionnel des boues activées dans le traitement biologique des eaux usées. Les stations d'épuration des eaux usées équipées de boues granulaires aérobies obtiennent des rendements de traitement élevés et ont des dépenses d'investissement et d'exploitation inférieures à celles des stations équipées de boues activées conventionnelles, majoritaires au Luxembourg.

Le LIST a développé un modèle pour les boues granulaires aérobies destiné aux applications d'ingénierie sur base de modèles mathématiques de processus. Ce modèle peut prédire les concentrations de polluants au cours des différentes phases opérationnelles du traitement.

En ligne avec les objectifs de numérisation de la stratégie nationale de recherche et d'innovation, le LIST a étudié la modélisation mécaniste des processus de traitement des eaux usées par voie biologique et son application à une unité pilote située dans les locaux d'un opérateur local. Les aspects scientifiques et techniques de ce travail ont été publiés dans le Journal of Chemical Technology and Biotechnology [Society for Chemical Industry, London (UK)] où les auteurs ont également présenté un article de perspective sur l'utilisation générale du modèle cinétique de Monod.

Success story #3

RENFORCER LA SURVEILLANCE DES RISQUES LIÉS AUX CYANOBACTÉRIES DANS LES EAUX DE BAINADE LUXEMBOURGEOISES

Depuis plus de 10 ans, le LIST est mandaté par l'Administration de la gestion des eaux pour la surveillance opérationnelle des proliférations de cyanobactéries – algues bleues – dans les eaux de baignade officielles, conformément à une directive européenne. Ces algues peuvent libérer des toxines et menacer la santé publique.

A travers le monde, les cyanobactéries engendrent des problèmes dans les écosystèmes d'eau douce. Selon les projections actuelles du changement climatique, la problématique devrait s'accroître. Afin de protéger la santé publique, il est essentiel de mieux comprendre ces cyanobactéries et notamment leur cycle de vie afin de proposer des stratégies de gestion. A ce titre, le LIST fournit des données pouvant déclencher des phases de vigilance ou de fermeture des plages luxembourgeoises.

En 2022, le LIST a mené trois projets ayant permis de déployer et de tester une combinaison unique de technologies de pointe. Celle-ci allie notamment la télédétection et la détection *in situ*, l'acquisition automatisée d'images ainsi que le dosage rapide des cyanotoxines, afin de stimuler la collecte des données sur le terrain et d'informer sur les risques associés à une résolution spatio-temporelle efficace. Un système d'alerte précoce a été développé, pour une protection efficace de la santé publique, tout en améliorant notre compréhension des cyanobactéries pour une meilleure prévision des efflorescences.

Un projet de surveillance participative a été lancé récemment, impliquant les citoyens dans le signalement et la documentation des efflorescences dans les eaux utilisées à des fins récréatives.



Jean-Baptiste Burnet

« Le Hub européen ECOSTRESS intègre une équipe de chercheurs qui travaillent sur un objectif commun : comprendre la variabilité du stress hydrique depuis l'espace. Une partie est consacrée à l'avancement de l'algorithme scientifique et à la validation globale du stress hydrique, et une autre partie porte sur l'architecture d'ingénierie haut de gamme afin de construire le hub pour l'intégration d'algorithmes dans un environnement cloud. Ce projet est un parfait exemple de l'interdisciplinarité du LIST entre la science et la technologie et un précurseur de la future mission de l'ESA sur le cycle de l'eau. »

Kaniska MALLICK,
Lead Research and Technology Associate



3. DÉTECTER LES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUR UNE MEILLEURE GESTION DES RISQUES

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. La plupart des technologies disponibles pour surveiller, prévoir et prédire les trajectoires futures du système terrestre sont limitées et entravent les progrès réalisés jusqu'à présent, en particulier lorsqu'il s'agit d'étudier 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 mettons en place au LIST contribuent 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 —

TÉLÉDÉTECTER L'ÉVAPOTRANSPIRATION TERRESTRE POUR LA NASA ET L'ESA

L'expérience « Ecosystem Spaceborne Thermal Radiometer Experiment on the Space Station » (ECOSTRESS) surveille les pertes d'eau dues aux processus d'évaporation et de transpiration à la surface terrestre. Le LIST a contribué à cette mission par la mise œuvre, avec succès, du hub européen ECOSTRESS et la fourniture de nombreuses données relatives aux écosystèmes sur la plateforme d'exploitation thématique sur la sécurité alimentaire.

Cette réalisation a débouché sur le projet de suivi EURANUS, financé par l'Agence Spatiale Européenne (ESA), qui vise à développer, à l'échelle de l'Europe et de l'Afrique, des produits relatifs à la température de surface des terres, à l'évaporation, à la productivité des écosystèmes et à l'efficacité de l'utilisation de l'eau, en utilisant l'ensemble des archives ECOSTRESS.



Tian HU

Grâce à cet effort, le modèle d'évaporation «Surface Temperature Initiated Closure» (STIC) du LIST est devenu l'un des algorithmes officiels du Jet Propulsion Laboratory de la NASA pour la génération des produits ECOSTRESS sur le cycle de l'eau à l'échelle continentale. Ces produits d'évaporation à haute résolution spatiale provenant du capteur de la Station spatiale internationale facilitent grandement les études futures qui tentent de quantifier les impacts de la restauration des écosystèmes sur la disponibilité de l'eau au niveau régional, comme l'ont déjà rapporté dans Nature Geosciences l'ancienne doctorante de DTU Hydro-CSI, Anne Hoek van Dijke, et ses superviseurs.

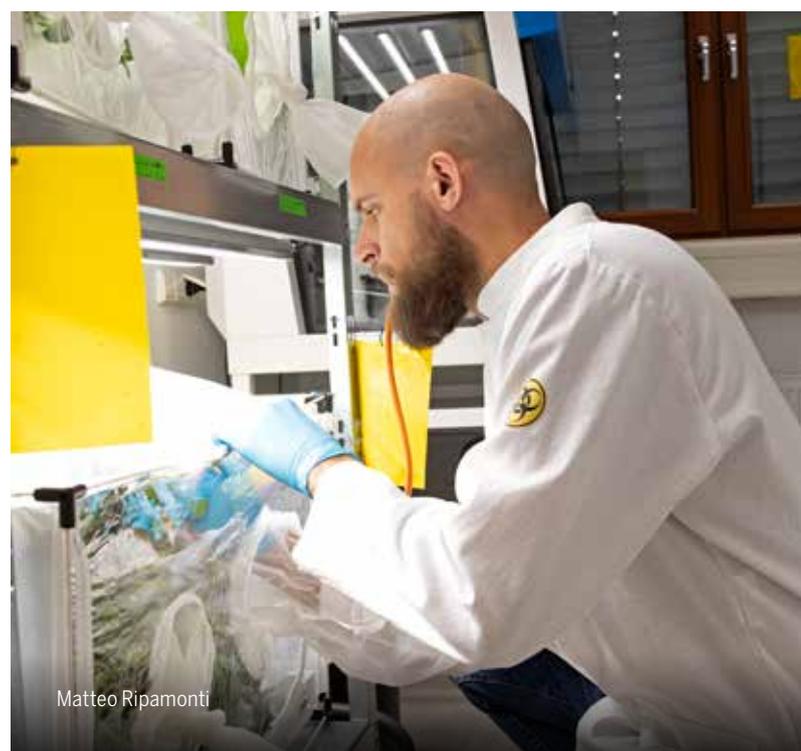
— Success story #2 —

CONCEVOIR DE NOUVELLES CONNAISSANCES ET DES SOLUTIONS DURABLES CONTRE LES MALADIES ET LES PARASITES AGRICOLES

Fin 2022, un nouveau laboratoire de biosécurité de niveau 3 a été créé et officiellement inauguré dans les locaux du LIST à Belvaux.

Les pathogènes végétaux à transmission vectorielle affectent presque toutes les cultures et peuvent entraîner des pertes économiques conséquentes pour les agriculteurs. Un tel laboratoire permet ainsi d'effectuer des expériences sur des pathogènes végétaux et des insectes nuisibles qui ne sont pas encore présents dans notre région, mais qui pourraient s'installer à l'avenir en raison du changement climatique. Ces sujets de recherche sont actuellement étudiés au LIST dans le cadre du projet Horizon 2020 Virtigation.

Ainsi, notre nouveau laboratoire représente un précieux atout pour la génération de nouvelles connaissances et de solutions durables au sujet des parasites agricoles dans un environnement en mutation. Dans une prochaine étape, de nouveaux biopesticides seront testés en laboratoire. Ces biopesticides destinés à lutter contre les parasites et les maladies de quarantaine sont développés en collaboration avec le Green Tech Innovation Centre.



Matteo Ripamonti



Stan Schymanski

— Success story #3 —

MIEUX GÉRER LES FORÊTS FACE AU CHANGEMENT GLOBAL

Dans le cadre du projet FNR Mobility In « Tracing Rainfall through forest canopies Into catchments » (TRAFIC), le professeur Richard Keim (Louisiana State University) s'est associé au LIST, en 2022, autour de leurs intérêts de recherche communs, à savoir la réponse des forêts au changement global.

L'objectif principal de TRAFIC était de comprendre les mécanismes de transport de l'eau à travers le couvert forestier jusqu'au bassin versant. Une première tentative de mesure assistée par traceur (avec des isotopes stables d'oxygène et d'hydrogène) des voies d'écoulement de l'eau et des temps de résidence dans un continuum couplé canopée forestière-sol a été menée, en mode pionnier, dans les forêts autour de la ville de Luxembourg.

TRAFIC a fourni de nouvelles données et une compréhension axée sur les processus qui, à terme, amélioreront notre capacité à prévoir les modifications dans la réponse des forêts au changement climatique et à adapter les stratégies de gestion forestière en conséquence.

4. ELABORER DES SYSTÈMES INTELLIGENTS POUR UNE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE PROPRE

« À long terme, le projet FlexBeAn vise à contribuer à la participation active des ménages, des PME, des industries et des acteurs de l'e-mobilité à la transition énergétique par la mise à disposition active de flexibilité aux gestionnaires de réseau ou aux acteurs du marché de l'énergie. Cela faciliterait l'intégration des ressources énergétiques distribuées, telles que la production d'énergie renouvelable, l'e-mobilité ou les pompes à chaleur, et soutiendrait l'optimisation économique des actifs du réseau, au bénéfice de la société et de l'économie. »

Daniel KOSTER,
Lead Engineer



La transition énergétique ne sera possible que grâce à un changement de paradigme pour atteindre les objectifs ambitieux de l'Union européenne de neutralité carbone d'ici à 2050. Cela suppose la mise en œuvre de technologies énergétiques plus décentralisées et plus propres, qui exploitent tout le potentiel des ressources distribuées. Elles s'appuieront sur des sources renouvelables et des solutions de stockage, ainsi que sur l'utilisation généralisée des technologies numériques pour transformer fondamentalement notre conception de ces futurs systèmes énergétiques.

Les travaux menés par le LIST s'inscrivent dans le cadre d'une transition énergétique propre pour le Luxembourg et l'Europe. Ainsi, nos projets se concentrent, entre autres, sur la simulation et l'optimisation des actifs énergétiques et des réseaux électriques, la conception de nouveaux marchés de l'énergie et des services qui y sont liés, sans oublier le développement de systèmes de contrôle distribués et la combinaison des technologies numériques avec l'automatisation du traitement de l'énergie.

— Success story #1 —

FAIRE DE L'E-MOBILITÉ DANS LE RÉSEAU ÉLECTRIQUE UNE RÉALITÉ

Le Luxembourg dépend de plus en plus des sources d'énergies renouvelables, qui fluctuent davantage que les sources traditionnelles. Le pays est également confronté à d'autres modes de consommation en raison de la décarbonisation des secteurs du chauffage et des transports. De fait, il est essentiel que son réseau électrique s'adapte.

Encevo, acteur de premier plan dans le domaine de l'énergie durable au Luxembourg et dans la Grande Région, a signé un accord-cadre de partenariat avec le LIST et l'Interdisciplinary Centre for Security, Reliability and Trust (SnT) de l'Université du Luxembourg dans le but d'unir leurs forces innovantes afin d'accélérer la transition vers un paysage énergétique durable. Le premier projet issu de ce partenariat, intitulé « Flexibility potentials and user Behaviour Analysis » (FlexBeAn), se concentre sur les réseaux intelligents.

Dans le cadre de ce partenariat, le LIST se concentre sur le domaine sociétal et celui de la flexibilité du réseau. L'objectif est de mettre en place un modèle intégré permettant d'évaluer la flexibilité des différents secteurs (ménages, industries, PME et dans le domaine de l'e-mobilité) afin de permettre à l'utilisateur, à terme, d'adapter sa consommation en fonction de la demande globale d'électricité sur le réseau.



Daniel Koster



Pedro Rodríguez & Gregory Baltas

Success story #2

UTILISER LA NUMÉRISATION DE L'ÉNERGIE ET L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE POUR ASSURER NOTRE ADAPTATION AUX ÉNERGIES RENOUVELABLES

L'objectif de neutralité climatique fixé par l'Union européenne à l'horizon 2050 affectera en profondeur le secteur de l'énergie qui s'appuiera de plus en plus sur des ressources énergétiques distribuées, telles que les sources d'énergies renouvelables, le stockage de l'énergie, les véhicules électriques et les demandes variables, connectées aux systèmes de distribution.

A terme, les décisions de planification opérationnelle effectuées par des agents ne suffiront plus à maintenir la sécurité et la stabilité de systèmes distribués au fonctionnement de plus en plus variable. Dès lors, la plupart des décisions doivent être prises *in situ* et en temps réel en fonction des données instantanées relevées sur les réseaux distribués.

Afin de répondre à ces questions, le nouveau projet «Learning Enabled Autonomous Real-Time Operation for Distribution Grids» (LEAP), financé par le Fonds National de la Recherche (FNR), propose des solutions innovantes, fondées sur des technologies de pointe telles que l'apprentissage automatique, qui s'impose comme un outil majeur pour mener à bien la transition énergétique. Le projet révélera de nouvelles connaissances et méthodes dans les domaines de la numérisation de l'énergie et de l'intelligence artificielle afin d'assurer notre adaptation à l'augmentation du recours aux énergies renouvelables et à l'accélération de la transition énergétique, dans une perspective de recherche à long terme.



Jun Cao

Success story #3

COORDONNER LE PILOTE LUXEMBOURGEOIS D'UNE FERME AGRI-PV AVEC STOCKAGE D'HYDROGÈNE ET BATTERIES

La démonstration de formes innovantes de stockage, leur exploitation réussie et leur intégration dans des systèmes énergétiques et des architectures de réseau novatrices sont essentielles pour réaliser la transition vers une énergie propre.

Le projet Horizon Europe «innovative Energy Storage Technologies Towards increased Renewables integration and Efficient Operation» (i-STENTORE) obtenu par le LIST en 2022 examine l'intégration de diverses solutions de stockage d'énergie et leurs combinaisons. Des systèmes de stockage innovants seront présentés et leur coopération avec les actifs intégrés sera co-optimisée, en plaçant la fiabilité, la qualité de l'énergie, l'exploitation rentable et la maximisation de la durée de vie des actifs comme objectifs finaux.

Le LIST est le coordinateur technique du projet. Il dirige un démonstrateur au Luxembourg pour étudier la disponibilité, la robustesse et la sécurité de plusieurs systèmes de production et de stockage d'énergie dans une ferme Agri-Photovoltaïque (Agri-PV). L'objectif est d'optimiser l'utilisation des ressources renouvelables produites localement afin de répondre aux besoins de la ferme, tout en venant soutenir le réseau global de l'opérateur. Dans le cadre de ce démonstrateur, le LIST collabore notamment avec les entreprises luxembourgeoises European Dynamics et Green Power Storage Solutions.

« CON-NET est une plateforme qui repoussera les limites de la visualisation des réseaux multi-niveaux afin de permettre à l'utilisateur final de mieux comprendre la source et l'impact des comportements néfastes et de la désinformation en ligne. »

Fintan MC GEE,
Senior Research and Technology Associate



5. CONCEVOIR LES SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES DE POINTE POUR RÉPONDRE AUX BESOINS NUMÉRIQUES

Notre monde produit des données à un rythme sans précédent. Les capteurs se multiplient et collectent de grandes quantités de données sur le comportement des individus et des groupes, mais aussi sur le fonctionnement des machines et des équipements, ou encore sur l'évolution de l'environnement. Le LIST soutient la transformation numérique de notre société et de notre économie en se concentrant sur l'interaction entre les personnes, les données, les ordinateurs et le monde physique.

Les travaux de recherche du LIST dans le domaine des sciences informatiques combinent la puissance des ordinateurs et les capacités humaines pour prendre des décisions meilleures, plus rapides, plus solides, plus justes et plus fiables. Nous étudions l'ensemble des systèmes, qu'ils soient cyber, physiques ou sociaux, afin d'imaginer, de concevoir, de tester et de développer la prochaine génération de technologies, dans un monde où les ordinateurs et les humains travaillent ensemble de manière harmonieuse et équitable pour résoudre des problèmes complexes.



Fintan Mc Gee

— Success story #1 —

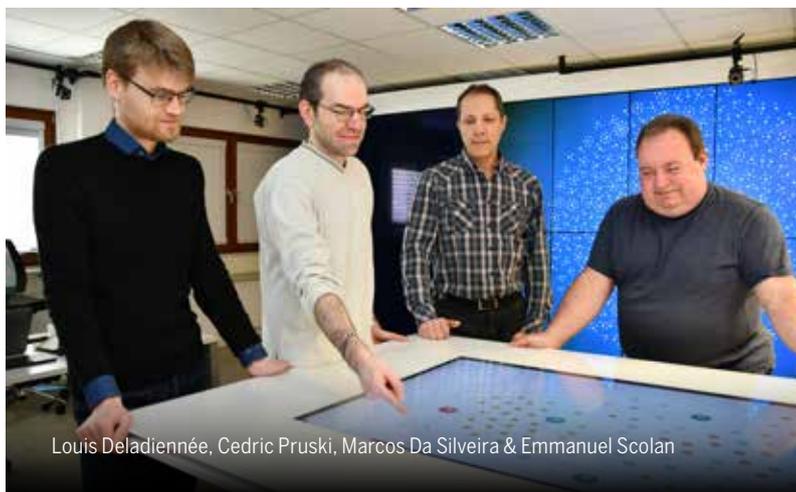
COMPRENDRE ET NEUTRALISER LA PROPAGATION DE FAKE NEWS

Le partage d'informations trompeuses, hors contexte ou simplement fausses, et la coordination des comportements («brigading») qui l'accompagne, altèrent la qualité des informations que nous recevons en ligne, que le mauvais comportement soit intentionnel ou non.

Au travers du projet CON-NET, le LIST applique des techniques d'apprentissage automatique destinées à traiter de grandes quantités de données dans le but d'identifier les tendances, signaux et comportements suspects ainsi que les entités qui se comportent mal. Cette démarche est complétée par une approche d'analyse visuelle, en incluant le facteur humain dans la boucle, pour fournir un contexte et comprendre la propagation des fausses informations en ligne. De ce fait, nous abordons la complexité des réseaux de médias sociaux en ligne.

Le projet CON-NET est financé dans le cadre du programme CHIST-ERA et rassemble un consortium de partenaires venus de toute l'Europe.





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

Success story #2

CRÉER UNE PLATEFORME DE PARTAGE DE CONNAISSANCES POUR LA COMMUNAUTÉ DES RESSOURCES SPATIALES

En mai 2022, dans le cadre de la Space Resources Week, le LIST a présenté la plateforme de partage de connaissances de la communauté des ressources spatiales. Cet outil de visualisation des données intègre près de 1300 publications scientifiques. Il sera complété au fur et à mesure par des informations, brevets, livres, articles de presse, documents législatifs et même des posts issus des réseaux sociaux. La plateforme est accessible gratuitement à la communauté impliquée dans les ressources spatiales, sur inscription.

Cette plateforme de partage des connaissances répond aux motivations et aux attentes de la communauté et fait suite à une enquête menée entre avril et juillet 2021. Cette dernière a révélé la grande diversité des acteurs du secteur spatial ainsi que son potentiel économique, lié à des activités terrestres, telles que l'exploitation minière, l'énergie ou encore la construction.



Benjamin Gateau

Success story #3

DÉVELOPPER LE DIGITAL TWIN HUMAIN

Un jumeau numérique (Digital Twin) est une représentation virtuelle de systèmes physiques (circulation, eau, air, etc.) et d'actifs physiques (bâtiments, ressources, etc.) qui peut effectuer des simulations, des tests et des prédictions d'actions planifiées presque en temps réel. Un jumeau est essentiellement utilisé pour obtenir des informations sur une action dans un monde simulé, avant que l'action ne soit effectuée dans le monde réel, ce qui ouvre d'énormes possibilités pour les entreprises, les autorités, mais aussi pour l'humain.

Afin de renforcer la recherche sur les jumeaux numériques humains, le LIST participe à deux projets d'envergure. Le premier est le projet HORIZON Europe HealthyW8. Coordonné par le Luxembourg Institute of Health (LIH), il porte sur la promotion d'un mode de vie sain par le biais de portefeuilles d'interventions personnalisées dans l'optique de prévenir et contrôler l'obésité au cours des phases vulnérables de la vie.

Le second est un projet mené en association entre l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), en France, et le Fonds National de la Recherche (FNR), au Luxembourg. Dénommé « AI for Cognitive Cyber-Physical Systems » (AI4C2PS) et coordonné par l'Université de Lorraine (GRAM), il exploite le concept de jumeau numérique d'une manière décentralisée où chaque système cyber-physique (CPS) et humain est jumelé. L'objectif est d'arriver à une collaboration efficace entre l'homme et la machine, en y intégrant un niveau cognitif afin de promouvoir la compréhension et l'apprentissage du comportement de l'autre afin de s'adapter et de réagir en conséquence.

« Les résultats obtenus du projet Secure5GeXP ont été salués par le ministère de l'Économie qui soutient le projet. En conséquence, le ministère a favorisé une extension du projet actuel et a encouragé un projet de suivi entre POST et le LIST. »

Qiang TANG,
Leader of the Trustworthy Data Systems
Group



6. CONCEVOIR LA PROCHAINE GÉNÉRATION DE SYSTÈMES NUMÉRIQUES INTERCONNECTÉS

Au Luxembourg, la forte connectivité des réseaux a sans aucun doute un impact important sur la qualité du service fourni, notamment en matière de rapidité des échanges. Toutefois, d'autres facteurs doivent être pris en compte dans une proposition de valeur ajoutée associée aux services. Il s'agit par exemple de la sécurité des données, de l'interface utilisateur, ou encore de la conformité des services aux réglementations et normes nationales et internationales. 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. Au LIST, nos équipes associent l'informatique, les réseaux et la recherche opérationnelle pour développer la prochaine génération de systèmes numériques interconnectés basés sur des données et des réseaux dignes de confiance.

— Success story #1 —

CONCEVOIR UNE SOLUTION D'APPRENTISSAGE POUR LA DÉTECTION D'ANOMALIES DANS LES RÉSEAUX TÉLÉCOMS

En étroite collaboration avec POST dans le cadre du projet Secure5GeXP, le LIST a développé une solution semi-supervisée basée sur des méthodes de « deep learning » permettant la détection d'anomalies dans le réseau central des télécoms. La solution a été validée avec des données privées de POST ainsi qu'avec des données simulées créées par le LIST sur la base d'un simulateur open-source. POST poursuit la validation de la solution avant de la mettre en production.

Le domaine phare de la recherche et de l'innovation mixant l'apprentissage automatique et la cybersécurité s'est par ailleurs vu renforcé par le lancement du projet Horizon Europe LAZARUS. Celui-ci vise à résoudre de nombreux problèmes de sécurité auxquels sont confrontés les logiciels modernes au cours de leur cycle de développement.



Qiang Tang



Pascal Lhoas & Ion Turcanu

Success story #2

COUP D'ACCÉLÉRATEUR SUR LA MOBILITÉ CONNECTÉE ET AUTONOME

Les activités du LIST dans le domaine de la mobilité connectée et autonome ont abouti à des résultats fructueux en 2022. Trois projets ont été acceptés pour financement, le premier par la Commission européenne (Horizon Europe) et les deux autres par le FNR (FNR BRIDGES et INTER ANR-FNR). Ces projets se situent à l'interface entre le monde des communications en réseau et celui de la mobilité, confronté à des contraintes très spécifiques et fait appel à des expertises transversales du département IT for Innovative Services, notamment autour du jumeau numérique.

Au cours de l'année, d'autres projets ont été menés à bien, notamment 5G-MOBIX (Horizon Europe) et PASCAL (Horizon Europe), tous deux destinés à expérimenter et tester les limites des futurs services de mobilité connectée et autonome. Le projet PASCAL, coordonné par le LIST et financé par la Commission européenne, vise par exemple à évaluer le niveau d'acceptation des citoyens européens face aux futurs véhicules connectés et autonomes, et ce, à travers une approche interdisciplinaire combinant des outils innovants en sciences humaines et technologiques.

Success story #3

TRACER LE TRANSPORT DE PRODUITS DANGEREUX GRÂCE À LA BLOCKCHAIN

Le LIST a développé plusieurs applications qui permettent une utilisation innovante de la blockchain notamment celle du transport de marchandises dangereuses dans des scénarios transfrontaliers.

Dans le cadre du projet DG-Sec, financé par Erasmus+, le LIST a travaillé sur l'utilisation de la blockchain et des objets connectés (IoT) pour tracer le transport de produits dangereux. Nous disposons d'une interface web de simulation, qui interagit avec des contrats intelligents sur deux technologies blockchain différentes, dans le but de stocker dans des transactions les différentes étapes du transport.



Thierry Grandjean, Damien Nicolas & Oussema Gharsallaoui

Success story #4

SERVIR LES COMMUNAUTÉS D'ÉNERGIE RENOUELABLE, GRÂCE AU LOGICIEL WESHAREENERGY

Le LIST a développé «We Share Energy», un logiciel de simulation multiplateforme destiné à servir les communautés d'énergie renouvelable, dans le cadre d'un projet collaboratif avec l'Institut Luxembourgeois de Régulation (ILR) appelé Smart Electricity.

Une partie de ce projet a consisté à développer un simulateur de communauté énergétique. Sous l'impulsion de l'Union européenne, les États Membres doivent permettre aux citoyens de se constituer en « communautés énergétiques », c'est-à-dire de se réunir en groupe de consommateurs et producteurs d'électricité, et d'échanger leur électricité pour réduire la consommation de chacun des membres.

WeShareEnergy est donc un outil qui permet à chaque citoyen luxembourgeois de simuler une telle communauté énergétique et d'en voir les bénéfices en fonction des membres invités, des règles de partage de l'électricité, des comportements de chacun. Ces communautés énergétiques joueront un rôle non négligeable dans le grand défi de la transition énergétique à l'avenir.



Jocelyn Aubert

« A l'heure où nos équipes travaillent déjà sur la sixième génération de réseaux mobiles (6G) et imaginent les applications de la prochaine décennie, il est crucial de ne pas perdre de vue la génération actuelle (5G), dont l'intérêt est déjà bien moins évident à percevoir qu'auparavant pour le public et les entreprises. 5G-PLANET est un bel exemple de projet qui a mené à la création de démonstrateurs concrets et tangibles, montrant les challenges R&D auxquels nous faisons face et prouvant l'intérêt d'utiliser ces technologies de communication avancées, notamment dans le domaine de la mobilité. »

Sébastien FAYE

6G Technology & Innovation Line Manager



5G : OUVRIR LE CHAMP DES POSSIBLES

La 5G ouvre de nouvelles possibilités, mais elle crée aussi un sentiment d'incertitude au sein de la population. L'introduction, il y a quelques années, de la nouvelle génération de téléphonie mobile 5G suscite de nombreuses questions au sein de la population, voire une certaine confusion.

Qu'est-ce que la 5G ? Comment se compare-t-elle aux autres technologies ? Quel est l'impact de la 5G sur la performance de la mobilité par rapport aux autres technologies de communication ? Quelles sont ses capacités et ses limites ?

Dans ce cas, la recherche a les moyens de répondre à ces questions de manière scientifique et donc de rassurer.

Success story

EXPLIQUER LA 5G ET DÉMONTRER SON POTENTIEL AU LUXEMBOURG

Grâce au projet 5G-PLANET, des exercices de communication importants et réguliers ont été réalisés par le LIST tout au long de l'année. Financé par le Service des médias, de la connectivité et de la politique numérique (SMC) du gouvernement luxembourgeois, ce projet a donné lieu à d'importantes activités de diffusion. Il a notamment conduit au développement de trois démonstrateurs, qui reposent tous sur des technologies utilisées par le LIST dans ses activités de recherche et de développement de réseaux mobiles. Le projet 5G-PLANET a aussi permis de sensibiliser un large public en utilisant le concept de jumeau numérique, c'est-à-dire en recréant une copie numérique d'une partie de l'infrastructure 5G luxembourgeoise, qui a ensuite été utilisée pour démontrer le potentiel de la 5G au Luxembourg.

Des partenariats importants ont par ailleurs été noués, notamment avec Telindus, qui a signé un accord de collaboration pour stimuler davantage le développement de cas d'affaires. Ces initiatives sont conformes à l'approche globale du Hub d'innovation numérique et contribuent à transmettre un message positif : la recherche et l'innovation comme moyen de tester et de comprendre avant d'investir !



Sébastien Faye

DIGITAL UPSKILLING : PRÉPARER LE MARCHÉ DU TRAVAIL AUX COMPÉTENCES DE DEMAIN

Les transitions numérique et verte ont entraîné une demande accrue de certaines compétences, aggravant ainsi les pénuries structurelles.

On s'attend à ce que les transformations du marché du travail dues à l'automatisation, à la numérisation et à la transition écologique entraînent une délocalisation encore plus réelle de l'activité économique et de la demande de compétences entre les industries et les professions.

Success story

CRÉER UNE DYNAMIQUE ENTRE LA TECHNOLOGIE ET LES COMPÉTENCES SUR LE MARCHÉ DU TRAVAIL

Le projet FNR Initiate UPSKILL, coordonné par le Luxembourg Institute of Socio-Economic Research, se situe à l'intersection d'un triple défi : la nécessaire transition verte, la transformation numérique compétitive et socialement harmonieuse de l'économie et la mise à niveau et le recyclage adéquats et proactifs de la main-d'œuvre. Ce projet contribue à la recherche de pointe et fournit des solutions pratiques pour favoriser un développement responsable et durable pour le Luxembourg. Ce projet répond à un besoin urgent de connaissances sur la dynamique entre l'innovation technologique et les compétences sur les marchés du travail luxembourgeois et européen. Pour combler cette lacune, les décideurs doivent disposer d'outils leur permettant de relever les défis en matière d'emploi et de compétences. La future plateforme de l'Observatoire des Compétences fournira des informations actualisées sur les exigences en matière de compétences, ainsi que des outils et des stratégies visant à accroître les avantages et l'adaptabilité du marché du travail.

En outre, l'Observatoire des Compétences fournira des pistes aux décideurs politiques et aux parties prenantes dans l'élaboration de programmes d'enseignement professionnel, de perfectionnement et de recyclage destinés aux demandeurs d'emploi et à la main-d'œuvre en général, et ce dans le but d'anticiper les déficits de compétences, de soutenir les groupes économiques et de prévenir le chômage. A l'horizon 2024, UPSKILL vise à lancer un nouveau *National Centre of Excellence in Research* (NCER) pour relever les défis identifiés avec tous les acteurs concernés, au Luxembourg et dans la Grande Région.

« En collaboration avec le Luxembourg Institute of Socio-Economic Research (LISER), le projet Upskill jette les bases d'un futur projet de recherche à grande échelle, afin de développer une plateforme de données et de prévision des compétences, ainsi que de soutien aux décideurs politiques, dans le cadre des transitions digitale et verte. »

Marie GALLAIS
Leader of the Human Modelling and Knowledge & Engineering Group



Marie Gallais



« Notre projet porte sur la mise en œuvre de techniques de traitement de surface visant à améliorer la compatibilité entre les fibres de bambou et la matrice. En répondant à des préoccupations telles que la dégradation thermique et en facilitant les capacités d'autoréparation, nous visons à améliorer de manière significative les propriétés mécaniques des composites à base de fibres de bambou. Ce projet de recherche élargit non seulement la gamme des polymères adaptés aux fibres de bambou, mais aussi leurs applications, en particulier dans les environnements humides. Grâce à ces avancées, nous comptons consolider la place des fibres de bambou sur le marché et créer des opportunités dans de nouveaux segments de marché. »

Levent KIRKAYAK,
Head of the Structural Composites Unit



7. CONCEVOIR LA PROCHAINE GÉNÉRATION DE MATÉRIAUX COMPOSITES

Les matériaux composites sont difficiles à réutiliser ou à recycler, car les technologies disponibles, telles que la pyrolyse à haute température et le broyage (pour être utilisé comme matériau de remplissage), sont peu respectueuses de l'environnement ou économiquement inintéressantes. En outre, la législation environnementale sur le recyclage des composants et des structures en fin de vie signifie qu'à partir de 2025, par exemple, 80 000 tonnes de composites polymères renforcés de fibres devront être recyclées chaque année en Europe.

Le LIST vise à développer la prochaine génération de matériaux composites, en mettant l'accent sur leur durabilité et leur recyclage, tout en maintenant des performances inégalées de poids/propriétés mécaniques. Nous étudions l'ensemble des éléments constitutifs d'un matériau composite de structure, de la synthèse à l'ingénierie des matières premières jusqu'à la fabrication complète des structures composites, en passant par l'optimisation de la conception et les tests fonctionnels. L'utilisation combinée de la modélisation avancée et de l'expérimentation permet d'accélérer la définition et l'implémentation d'une approche « sustainable by design » pour ces matériaux composites plus performants et plus durables.

Success story #1

DÉCARBONER L'INDUSTRIE AUTOMOBILE GRÂCE À DES SUPER FIBRES DE BAMBOU

En raison de leurs qualités mécaniques exceptionnelles, les principaux matériaux aujourd'hui utilisés pour renforcer les composites polymères sont les fibres de verre et de carbone. Cependant, ces fibres sont peu recyclables, non biodégradables et présentent une forte empreinte carbone.

Les fibres naturelles telles que le bambou, le lin ou le chanvre sont des ressources alternatives comme matériaux de renforcement. Plusieurs études arrivent à la conclusion que ces fibres naturelles, en particulier le bambou, sont écologiquement supérieures aux fibres synthétiques à chaque phase du cycle de vie des matériaux composites.



Carlos Fuentes Rojas



Signature du partenariat avec Daher

Les chercheurs du LIST ont mis au point une technologie d'extraction mécanique unique afin d'obtenir de longues fibres de bambou sans les endommager, ainsi qu'un processus permettant d'obtenir des microfibrilles de cellulose de haute performance issues des fibres de bambou.

Ainsi transformées, les «super fibres de bambou» présentent une excellente résistance à la traction qui dépasse les propriétés mécaniques des fibres de verre et de toutes les autres fibres naturelles. Ces résultats ouvrent une voie alternative pour accélérer la génération durable de composites polymères renforcés par fibre longue nécessaires à des secteurs clés tels que l'automobile et l'aviation.

— Success story #2 —

OPTIMISER UNE TECHNOLOGIE DE SOUDAGE DE COMPOSITES THERMOPLASTIQUES

Daher, société spécialisée dans l'industrie aéronautique, et le LIST ont conclu un partenariat d'envergure destiné à optimiser une technologie de soudage qui permet l'assemblage de sous-structures primaires d'avions produites à base de composites thermoplastiques. L'accord bilatéral de trois ans porte sur une technologie de soudage infrarouge adaptée aux pièces épaisses de grandes dimensions, destinée à révolutionner la fabrication industrielle de pièces structurales de haute qualité.

Les composites thermoplastiques sont de plus en plus utilisés dans l'industrie aérospatiale en raison de leur légèreté, de leur résistance mécanique et de leur capacité à être soudés. Autre avantage, ils nécessitent moins d'énergie que les matériaux composites concurrents et présentent l'énorme avantage d'être recyclables.

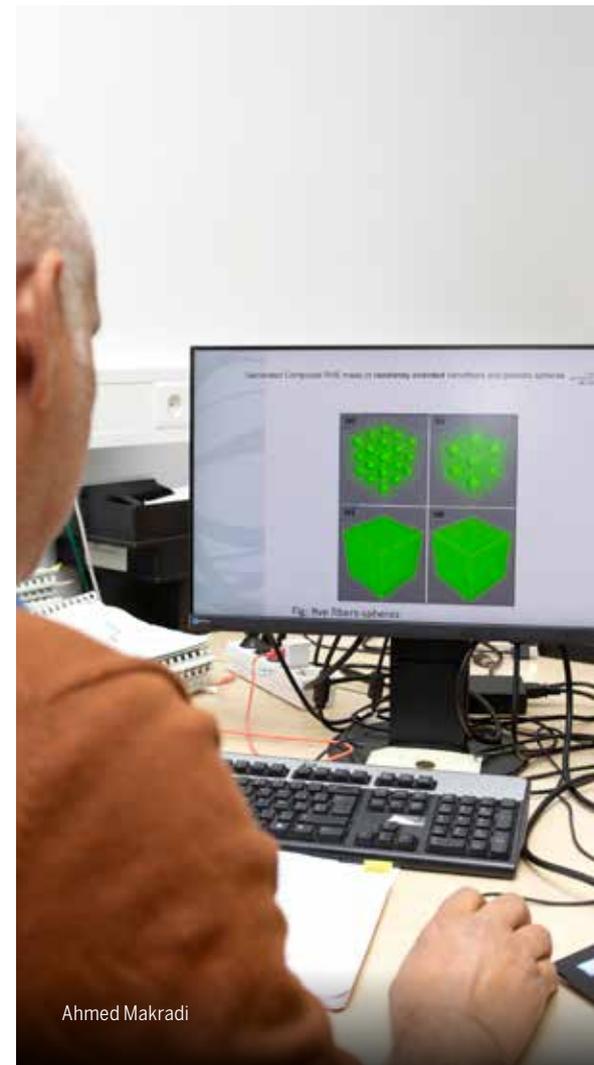
L'application de cette technologie élargira les solutions de soudage pour les composites thermoplastiques proposées par Daher et KVE Composites, société néerlandaise spécialisée dans la conception, la fabrication et l'assemblage de composites thermoplastiques de haute performance. Le partenariat bénéficie de l'expertise de Daher en tant que concepteur et fabricant d'aérostructures, ainsi que du savoir-faire de LIST en science des matériaux et en développement de procédés.

— Success story #3 —

DES AVANCÉES POUR LA SURVEILLANCE DE LA SANTÉ STRUCTURELLE DES CÉRAMIQUES

Dans le cadre d'un projet européen (M-era.Net CENTAUR), les travaux du LIST se sont concentrés sur la création de matériaux à matrice céramique renforcés par des fibres courtes ou continues, qui conviennent à l'impression 3D par extrusion.

Les modèles micromécaniques développés visent à prédire avec précision les propriétés élastiques effectives et la conductivité électrique des composites à matrice céramique dans l'impression 3D, ainsi que les dommages qui se produisent dans ces composites.



Ahmed Makradi

« Airbus est très honoré de soutenir le Centre d'innovation Sustainable Composite Materials & Manufacturing. Un personnel hautement qualifié et des équipements de pointe constituent une plateforme parfaite pour des efforts de recherche partagés qui ont déjà été lancés dans un délai ambitieux. Nous sommes convaincus que le LIST apportera des solutions innovantes et durables à nos défis futurs, par exemple dans les domaines technologiques des structures intérieures des avions ou du traitement avancé des composites pour les applications à émission zéro. »

Christian RÜCKERT
Head of R&T Materials & Processes, Airbus



UN CENTRE D'INNOVATION POUR LES MATÉRIAUX ET PROCÉDÉS COMPOSITES

Au Luxembourg, le secteur des transports est le premier émetteur de gaz à effet de serre, avec plus de 60 % des émissions totales. Dans le cadre des efforts européens pour atteindre le seuil de « zéro émission nette » en 2050, chaque état doit présenter sa feuille de route pour diminuer ses émissions de manière conséquente. Dans ce cadre, le gouvernement luxembourgeois peut compter sur le LIST dont l'une des propositions est de développer des matériaux composites à très faible empreinte carbone et de démontrer leurs bénéfices pour le secteur du transport à travers des démonstrateurs d'application concrète pour les secteurs de l'automobile, du rail, de l'espace, de l'aéronautique et de la future mobilité aérienne urbaine.

— Success story —

UN NOUVEAU CENTRE D'INNOVATION EN FAVEUR DE LA MOBILITÉ ZÉRO ÉMISSION

En décembre 2022, le LIST a ouvert le centre d'innovation Sustainable Composite Materials & Manufacturing (SCMM IC). L'initiative concentre ses priorités de recherche et de développement innovant sur les défis du secteur des transports à la recherche de solutions de mobilité à zéro émission. L'ambition du centre d'innovation est d'accélérer l'utilisation de matériaux et de procédés à faible empreinte carbone pour des pièces composites fonctionnelles qui répondront aux besoins des véhicules du futur.

Pour ce faire, les briques technologiques innovantes des matériaux, par exemple des matériaux biosourcés et/ou recyclables ainsi que des procédés de fabrication et de recyclage efficaces, seront intégrés dans des démonstrateurs hautement pertinents alignés sur la vision de grands leaders industriels, leurs équipementiers et les grands fournisseurs des secteurs automobile, ferroviaire, spatial et aéronautique, sans oublier de prendre en compte l'émergence de la mobilité aérienne urbaine.

Le centre propose une approche efficace permettant une transition rapide des résultats de la recherche vers l'économie réelle en rassemblant, dans un programme d'innovation ambitieux, les utilisateurs finaux (OEM), les acteurs nationaux et internationaux actifs tout au long de la chaîne de valeur des composites et les chercheurs du LIST.

L'initiative implique quatre acteurs majeurs du transport européen, à savoir Toyota, Airbus, Thales Alenia Space et Alstom, qui partagent leurs besoins critiques permettant la commercialisation à moyen terme des véhicules ultralégers, recyclables et à faible empreinte carbone.

Ce programme d'innovation a une durée initiale de quatre ans pour un budget de plus de 16 millions d'euros, co-financés par le LIST, le ministère de la Recherche et de l'Enseignement supérieur, le ministère de l'Economie et les membres industriels actifs. Il comprendra notamment un investissement de 3 millions d'euros du LIST sur des nouvelles technologies industrielles qui compléteront l'offre de la Plateforme Composite du département Matériaux.



Inauguration du centre d'innovation Sustainable Composite Materials & Manufacturing



Henri Perrin & Masoud Bodaghi

« Les nouveaux polymères de haute performance que nous avons développés ouvrent de nombreuses perspectives d'application dans la création de matériaux composites utilisables dans l'industrie automobile, l'aéronautique et le domaine spatial.

Pierre VERGE
Lead Research and Technology Associate



8. UTILISER LES POLYMÈRES FONCTIONNELS COMME VECTEUR D'INNOVATION

Les polymères fonctionnels sont issus de macromolécules qui ont des propriétés uniques. Ils sont généralement peu coûteux et faciles à synthétiser. La technologie de fabrication des polymères permet la transformation libre des structures moléculaires de composés organiques, ouvrant ainsi le champ des possibles.

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 et la chimie des polymères, et ce y compris la modélisation moléculaire. Notre recherche est basée sur deux axes : la réalisation de matériaux polymères durables, principalement issus de résidus industriels ou agricoles, ainsi que la physique-chimie des polymères intelligents/réactifs.

— Success story #1 —

CRÉER UNE NOUVELLE FAMILLE DE MATÉRIAUX POLYMÈRES

Une nouvelle famille d'électrolytes polymères a été créée grâce au soutien d'une subvention INTER du Fonds National de la Recherche (FNR) dans le cadre du projet DISAFECAP (Safe Solid-State Supercapacitors using Dynamic Ion Gels from Poly(Ionic Liquids)), en coopération avec deux universités françaises partenaires (CY Cergy Université Paris et Université Lyon 1).

Cette nouvelle famille de matériaux polymères appelés gels ioniques dynamiques est obtenue par la combinaison de polymères et de nanoparticules de silice de charges opposées. Ce procédé conduit à la création de polymères robustes, aux propriétés auto-cicatrisantes et de forte conductivité ionique.



Dhahabia Abdallah Boina



Samet Ozyigit, Célia Ziame, Charles Jehl, Killian Bourdon, Daniel Schmidt & Vincent Boulic (absents : Channy Hesse, Carlos Ivan Cardona Garcia)

Success story #2

NEUF DOCTORANTS POUR DÉVELOPPER UNE NOUVELLE GÉNÉRATION DE COMPOSITES POLYMÈRES DURABLES

Nous visons à développer une nouvelle génération de composites polymères durables à base de résines recyclables et des fibres renouvelables et/ou recyclées. Les matériaux envisagés devraient être non seulement recyclables, mais aussi re-traitables et réparables, tout en conservant les caractéristiques attrayantes des composites haute performance existants. Dans cette optique, nous coordonnons un programme de recherche d'étude doctorale co-financé par le programme PRIDE du Fonds National de la Recherche (FNR).

Les sujets de thèse vont de la conception informatique et expérimentale de nouvelles résines à la réalisation de processus de recyclage, en passant par l'utilisation de matières premières d'origine biologique et la mise en œuvre de stratégies de conception facilitant la réparation et la réutilisation des produits finaux. Cet effort permettra la génération de nouvelles connaissances fondamentales nécessaires à la mise en pratique de ces résultats, ainsi que la formation d'une nouvelle génération de chercheurs dans le domaine critique des technologies des matériaux plastiques et composites durables.

Success story #3

VERS DES BATTERIES LITHIUM-ION SÛRES, PRATIQUES ET PERFORMANTES

Le LIST a mis au point des familles de nouveaux matériaux polymères conducteurs ioniques à haute performance (électrolytes polymères). L'une d'elles est constituée de copolymères à blocs uniques contenant des anions chimiquement liés et des cations mobiles. Dans ces matériaux, les blocs non chargés assurent la rigidité jusqu'à des températures élevées et confèrent une robustesse mécanique au matériau, tandis que les blocs chargés assurent le transport d'ions à faible résistance. Les copolymères à blocs conducteurs qui en résultent offrent une combinaison attrayante de stabilité mécanique/thermique et de conductivité ionique élevée, ce qui les rend particulièrement attractifs pour les applications de stockage de l'énergie électrique.

En coopération avec l'Université Politecnico di Torino (Italie), ces copolymères ont été utilisés comme base d'électrolyte solide pour des batteries au lithium plus sûres.



Daniil Nosov & Alexander Shaplov

9. DÉVELOPPER DE NOUVELLES NANOPARTICULES MULTIFONCTIONNELLES

« Notre étude s'appuie sur les connaissances acquises et publiées dans nos articles précédents, et présente pour la première fois la synthèse d'une particule de silice dendritique modifiée de manière régiosélective et son impact sur le nanocomposite caoutchouc-silice de la bande de roulement du pneu. Dans le cadre de ce travail, nous avons surpassé les composites classiques caoutchouc/silice et avons ouvert la voie à la réduction de la résistance au roulement et à l'amélioration de l'adhérence de la prochaine génération de pneumatiques. »

Jean-Sébastien THOMANN,
Leader of the Powder and Colloids
Engineering Group



Les nanomatériaux possèdent des propriétés particulières liées à leur taille et leur structure nanométrique. De ce fait, ils présentent un grand intérêt en raison de leur fort potentiel pour la création de nouveaux produits innovants dans de nombreux domaines.

Au LIST, nous développons de nouvelles nanoparticules multifonctionnelles pour nos partenaires. Nous travaillons 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.

— Success story #1 —

UNE NANOPARTICULE TRACE LA ROUTE DE LA PROCHAINE GÉNÉRATION DE PNEUS

En collaboration avec Goodyear, le LIST a revisité le squelette de la bande de roulement des pneus, appelé réseau de percolation de la silice. En utilisant une nouvelle nanoparticule de silice dendritique modifiée, le LIST a obtenu de meilleurs résultats que les nanocomposites classiques caoutchouc/silice et a ouvert la voie à la prochaine génération de pneus démontrant une meilleure adhérence et une plus faible résistance au roulement.

L'application d'un tel système de charge pour le renforcement du caoutchouc des pneus ouvre de nouvelles perspectives dans la conception de pneus à faible résistance au roulement et à traction compétitive avec des performances durables. Cette étude a été publiée dans le Chemical Engineering Journal et les particules sont brevetées.



Jean-Sébastien Thomann



Resmi Anand & Lise Innocent

Success story #2

DE LA LIGNINE DANS DES ADDITIFS ANTIBACTERIENS

La lignine, présente dans la plupart des plantes vasculaires et dans quelques algues, intéresse les chercheurs principalement en raison des préoccupations environnementales et des ressources pétrolières limitées. Jusqu'ici, elle a été considérée comme un déchet dans la production de pâte à papier, brûlée pour produire de l'énergie. La structure, les propriétés et les types de lignines dépendent de leur source et de leur processus d'extraction.

Les recherches du LIST ont conduit à décrire comment la compréhension fondamentale de la nanoprécipitation des nanoparticules de polymères permet de moduler la stabilité mécanique, optique et thermique des nanoplastiques biosourcés fabriqués à partir de ressources renouvelables et non valorisées, incluant la lignine. Ces particules sont actuellement développées pour renforcer les élastomères, comme additif antibactérien pour les composites ou comme capsules anti-âge en cosmétique. Cette étude a été publiée dans *Journal of Colloids and Interfaces Science* et les particules sont brevetées.

Success story #3

DÉVELOPPER DES NANOPARTICULES AGENTS DE CONTRASTE UTILISÉS DANS L'ÉCHOGRAPHIE

Dans le cadre du développement de procédés de chimie «verte», une de nos études a démontré la synthèse et la stabilisation de nanoparticules de carbonate de calcium amorphe grâce à des procédés et des stabilisateurs verts. Ces particules peuvent trouver des applications dans la technologie médicale comme les agents de contraste utilisés dans l'échographie. Cette étude a été publiée dans *Royal Society of Chemistry Green Chemistry* et les particules sont brevetées.



« Le partenariat avec le LIST a vraiment été essentiel pour permettre à Goodyear de favoriser la mobilité. Je me réjouis de poursuivre notre développement ensemble et innover de manière responsable et durable. »

Chris HELSEL,
Senior Vice President Global Operations and
Chief Technology Officer chez Goodyear



SIX ANS DE PARTENARIAT GAGNANT AVEC GOODYEAR

Au cours des six dernières années, le LIST et The Goodyear Tire & Rubber Company ont collaboré pour parvenir à des résultats pionniers dans les domaines de la recherche sur les matériaux, de la compréhension des relations structure-propriété et de la science des données.

DES RÉSULTATS À LA HAUTEUR

Lancé en 2017, le plus grand partenariat public-privé à avoir vu le jour au Luxembourg, avec un budget d'environ 50 millions d'euros, a conduit à des résultats impressionnants en science et technologie dans les domaines des matériaux et des sciences des données : 94 publications scientifiques et contributions à des congrès ainsi que 17 secrets de fabrication et 14 brevets.

Ces réalisations ont été mises en œuvre dans de nombreuses opérations quotidiennes de Goodyear, ainsi que du LIST dans divers domaines. Par exemple, Goodyear a déployé :

- une solution innovante permettant un processus de développement des pneus basé sur les données ;
- des algorithmes de prédiction de l'usure et de détection des fuites pour les solutions d'intelligence des pneus ;
- un grand nombre de solutions analytiques sans précédent ;
- une nouvelle approche pour optimiser le type et la quantité de résines, contribuant à sécuriser l'approvisionnement en matières premières.

Notre partenaire envisage également de développer des charges de renforcement biosourcées (lignine et cellulose) ayant fait leurs preuves et de les utiliser dans des produits à haute valeur ajoutée.



Xavier Fraipont, Vice President, Product Development EMEA, Goodyear



Signature d'un nouvel accord lors du TechDay 2022

FAIRE DU LUXEMBOURG UN CENTRE D'INNOVATION DE RUPTURE DANS LE DOMAINE DE LA MOBILITÉ

Soutenue par le Ministère de l'Économie (MECO), cette collaboration de recherche a renforcé le profil du LIST en tant qu'organisation de recherche et de technologie de haut niveau et a aidé Goodyear à consolider sa position de leader innovant sur le marché du développement et de la fabrication de pneus.

Le Fonds National de la Recherche (FNR) a soutenu cette collaboration dans le domaine des technologies des matériaux via le cadre de l'Industrial Partnership Block Grant (IPBG). Lors de l'examen final, le groupe d'experts du FNR a soigneusement évalué les résultats et a déclaré que ce partenariat «a fortement contribué à faire du Luxembourg un centre d'innovation de rupture dans le domaine de la mobilité, avec un accent sur les pneus et les technologies liées aux pneumatiques». Nous sommes fiers de pouvoir annoncer qu'à l'issue de leur travail dans le cadre de la première phase du partenariat Goodyear-LIST, plus de 80% des doctorants et post-doctorants ont trouvé un emploi quelques semaines après la fin de leur contrat, dont la moitié au Luxembourg.

UN NOUVEL ACCORD STRATÉGIQUE ENCORE PLUS LARGE

Sur la base du succès de la première phase, un deuxième partenariat stratégique est en cours de préparation, tenant compte des priorités socio-économiques et en élargissant la portée de la collaboration vers des domaines de recherche supplémentaires. Le développement de produits virtuels, la numérisation des processus et l'intelligence des pneus seront des domaines de recherche supplémentaires dans la catégorie Data Science. La nouvelle génération de pneus, les pneus sans air, ainsi que la valorisation des pneus en fin de vie seront les principaux domaines de développement de matériaux et de caractérisation spécifique. Le LIST et Goodyear ont signé un protocole d'accord lors du LIST Tech Day le 15 juin 2022 en présence du ministre de l'Économie Franz Fayot.



Marc Angotti, Daniel Schmidt, Jean-Sébastien Thomann, Jean Di Martino, David Ruch & Benoît Otjacques

« La technologie que nous étudions a le potentiel de recourir aux fonderies de semi-conducteurs en carbure de silicium pour produire des puces quantiques à grande échelle et à moindre coût. »

Florian KAISER,
Leader of the Quantum Materials Group



10. RENFORCER NOTRE INFLUENCE INTERNATIONALE DANS LE DOMAINE DES NANOTECHNOLOGIES

Les nanotechnologies peuvent avoir un impact considérable sur la société. Elles sont déjà utilisées, par exemple, dans les secteurs de l'information et des communications. La détection de gaz ou de (bio)molécules, de déformations mécaniques ou vibratoires, à la récupération, au stockage et à l'utilisation de l'énergie ambiante sont autant d'exemples de propriétés extraordinaires rendues possibles par les nanotechnologies.

Le LIST travaille sur le développement technologique de matériaux contrôlés à l'échelle nanométrique et démontre leurs fonctionnalités remarquables par l'intégration de ces matériaux avancés dans des dispositifs innovants. Au cours de l'année, nous avons accéléré nos initiatives en accueillant un chercheur de renommée internationale et renforcé notre influence dans le domaine des nanotechnologies.

Success story #1

UN PAS VERS LE PREMIER ORDINATEUR QUANTIQUE DU LUXEMBOURG

En 2022, le LIST a accueilli Florian Kaiser, dont la mission est de créer un nouveau groupe de recherche sur les matériaux pour l'informatique quantique. Florian a auparavant occupé un poste de professeur assistant à l'université de Stuttgart.

L'objectif global est de démontrer, dans les cinq années à venir, la génération, la manipulation et l'utilisation de « qubits » nécessaires à la démonstration du premier calcul quantique issu d'une technologie luxembourgeoise. La technologie étudiée a le potentiel de générer plus de dix qubits intriqués par dispositif élémentaire tirant parti de lacune de silicium maîtrisée à l'échelle atomique sur des substrats de pureté ultime.

Cette technologie sera développée sous la responsabilité de Florian Kaiser, un des experts mondiaux de cette technologie.



Florian Kaiser



Success story #2

SEPT DOCTORANTS ONT SOUTENU AVEC SUCCÈS LEUR THÈSE DE DOCTORAT

Issus de la plus grande unité de formation doctorale du programme PRIDE du FNR, sept doctorants ont soutenu leur thèse avec succès en 2022. Nikhar Khanna, Rutuja Bhusari, Tairan Francisco da Cunha, Sangitta Dutta, Alvar Torello, Naveen Aruchamy et Youri Nouchokgwe ont reçu le diplôme de « Docteur de l'Université du Luxembourg ».

Ces chercheurs ont démontré une excellence scientifique et technologique avec des articles publiés dans les meilleures revues (Nature, Science, Nature Materials, Nature Communications) et trois brevets déposés. Après Tai Nguyen en 2021, Alvar Torello du programme PRIDE MASSENA a obtenu le prestigieux prix Laval de l'Université du Luxembourg, qui récompense une avancée exceptionnelle dans le domaine de l'ingénierie électrique.

Success story #3

UN PHYSICIEN DU LIST ÉLU FELLOW DE L'AMERICAN PHYSICAL SOCIETY

Le Dr Jorge Iñiguez, un expert scientifique du département Materials Research and Technology (MRT) du LIST, a été élu au rang prestigieux de Fellow de l'American Physical Society (APS). Cette distinction récompense ses « contributions révolutionnaires à la théorie computationnelle des matériaux ferroélectriques et multiferroïques ».



Jorge Iñiguez

« Nous avons démontré avec succès une méthodologie permettant de corréler l'évolution chimique à l'échelle nanométrique des interfaces réactives avec les propriétés électrochimiques des batteries. »

Santhana ESWARA MOORTHY,
Lead Research and Technology Associate



11. REPOUSSER LES LIMITES DE L'INSTRUMENTATION SCIENTIFIQUE

À la croisée des gestes et des savoirs, l'instrumentation scientifique apparaît comme la matérialisation d'une recherche en cours. Elle garde la trace des pratiques, des savoir-faire et des connaissances, véritables témoins de la fabrication de la science.

Vitesse, résolution spatiale, sensibilité atomique ou analyse de données complexes et dynamiques sont autant de sujets qui nous passionnent. Au LIST, notre objectif est de 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 —

CRÉER DES TECHNIQUES NANO-ANALYTIQUES UNIQUES DANS LES BATTERIES

Le développement de technologies de stockage d'énergie performantes et sûres est essentiel pour accélérer la transition vers une énergie durable et propre. Bien que les batteries lithium-ion soient omniprésentes aujourd'hui dans la vie quotidienne, de nombreux mécanismes à l'échelle nanométrique qui sous-tendent le fonctionnement de ces batteries ne sont pas encore entièrement compris. Les connaissances liées aux mécanismes à l'échelle nanométrique tels que le transport et le transfert de charge se produisant au niveau des interfaces internes des batteries seront utiles pour atténuer les processus de dégradation et améliorer considérablement l'efficacité, la sécurité et la durabilité de ces dispositifs de stockage.

Sonder l'électrochimie locale à l'échelle nanométrique dans les batteries en cours de fonctionnement est un défi auquel la communauté de recherche sur les batteries est actuellement confrontée. Pour développer davantage les outils et méthodes d'analyse, y compris les approches d'apprentissage automatique pour la caractérisation des batteries, une équipe de recherche internationale dirigée par le LIST a reçu un financement de 5 millions d'euros de l'Union européenne et 700.000 euros supplémentaires de la Suisse.



Luca Cressa & Santhana Eswara Moorthy



Nicolas Boscher

Success story #2

TRANSFORMER DES COLORANTS INDUSTRIELS EN MATÉRIAUX AVANCÉS

Dans le cadre d'un projet Horizon 2020 de la Commission européenne via le programme de travail Marie Skłodowska-Curie Actions, le LIST a développé avec succès des films minces polymères fonctionnels à partir de colorants industriels abordables. La synthèse des films minces polymères a été réalisée directement à partir de la phase gazeuse, ce qui permet leur ingénierie au niveau moléculaire et leur intégration directe pour des applications pratiques. En particulier, les découvertes de nos chercheurs dans le cadre de ce projet ont permis d'améliorer la photoactivité des films minces de catalyseurs polymères.

Success story #3

EXPLORER DE NOUVEAUX TERRITOIRES EN TERMES DE FONCTIONNALITÉ, DE SYNTHÈSE ET DE CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX

Le LIST a pour volonté de créer des plateformes de matériaux qui intègrent la synthèse et la caractérisation, de développer des systèmes pilotes, de collecter des ensembles de données d'ingénierie, de développer des algorithmes de Machine Learning et de découvrir de nouveaux matériaux pour répondre à des défis critiques.

Les plateformes de découverte axées sur les données qui en résulteront tireront parti des capacités du LIST pour explorer de nouveaux territoires en termes de fonctionnalité, de synthèse et de caractérisation des matériaux. Les exemples d'application comprennent la prédiction des propriétés des matériaux, comme la conductivité thermique pour concevoir de meilleurs isolants, l'analyse des données expérimentales, par exemple la spectrométrie de masse pour l'élucidation de la structure, et l'optimisation des paramètres de processus, notamment pour les processus de dépôt chimique/physique en phase vapeur ou d'électrochimie.



Matthias Rupp

« Le principe de production d'électricité par un système de pendule à trajectoire chaotique a été testé dans l'environnement de la piscine à vagues des Thermes de Strassen. Ces résultats ont permis de valider un premier niveau de performance d'un démonstrateur technologique à échelle 1/6^e embarquant un électrolyseur pour la production *in situ* d'hydrogène. Le dispositif à échelle 1 visera un fonctionnement autonome en milieu marin.

Jérôme POLESEL,
Technology & Innovation Manager



UTILISER L'HYDROGÈNE VERT POUR FRANCHIR LES DERNIÈRES ÉTAPES DE LA DÉCARBONATION

La production d'hydrogène «vert» à partir d'énergies renouvelables est essentielle pour rendre possible une transition progressive vers une économie de l'hydrogène propre et un mix énergétique plus durable et intelligent.

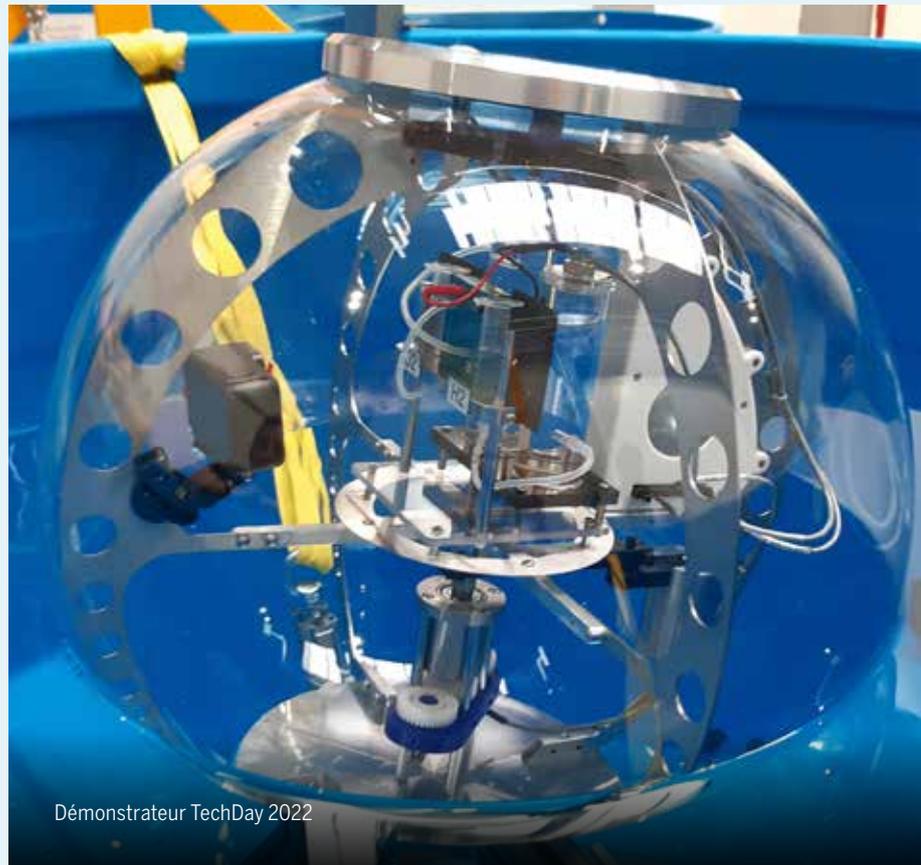
Au LIST, notre ambition est de mettre à profit et coordonner nos expertises pour développer des alternatives aux énergies renouvelables variables consommatrices de terres rares, et former les futurs chercheurs-ingénieurs sur les technologies les plus avancées de la transition énergétique.

— Success story #1 —

PRODUIRE DE L'HYDROGÈNE VERT GRÂCE AU MOUVEMENT DES VAGUES

Le LIST a mis au point une technologie propriétaire qui permet de s'affranchir de l'intermittence des énergies renouvelables variables, telles que le solaire et l'éolien, en utilisant les vagues de l'océan comme source d'électricité dans le processus d'électrolyse de l'eau. Cette preuve de concept présente un fort potentiel économique en ce qui concerne les coûts de production de l'hydrogène, tout en minimisant la dépendance stratégique à l'égard des métaux critiques et des ressources terrestres rares utilisées dans les énergies renouvelables variables.

Ce dispositif a été présenté aux acteurs industriels locaux lors du TechDay à la Maison des Arts et des Etudiants de Belval le 15 juin 2022. Il s'agit de convaincre les acteurs locaux de la robustesse de la technologie afin de passer à l'étape suivante d'un démonstrateur grandeur nature en milieu marin. Une récente visite d'acteurs politiques a déjà permis de discuter du potentiel de cette technologie «made in LIST».



Démonstrateur TechDay 2022





Drialys Cardenas Morcoso

Success story #2

FORMER LA PROCHAINE GÉNÉRATION DE CHERCHEURS AUX MATÉRIAUX FONCTIONNELS

En tant qu'unité de formation doctorale (DTU) financée par le Fonds National de la Recherche via le programme PRIDE, HYMAT forme au plus niveau la prochaine génération de doctorants sur les matériaux fonctionnels des technologies liées à l'hydrogène. La cohorte de huit doctorants, supervisée par huit scientifiques expérimentés du LIST, a accès à l'infrastructure de pointe de l'institut. En tant que tel, HYMAT fournit le cadre et les ressources pour coordonner un programme de formation interdisciplinaire permettant de former les futurs chercheurs-ingénieurs sur les technologies les plus avancées de la transition énergétique.

Le programme HYMAT s'appuie sur l'expertise et les complémentarités existantes au sein du LIST pour relever les défis liés à la production et à l'utilisation propres de l'hydrogène. Les chercheurs du LIST étudient les principaux défis des matériaux stratégiques nécessaires aux technologies spécifiques qui sous-tendent une économie durable et compétitive de l'hydrogène.

« Nous sommes convaincus que l'innovation et les grands résultats sont le fruit d'une pensée diversifiée et que des points de vue différents sont essentiels dans notre parcours pour devenir un point de référence international dans le domaine des ressources spatiales. »

Kathryn HADLER
Directrice, European Space Resources
Innovation Centre (ESRIC)



12. ACCÉLÉRER L'UTILISATION DES RESSOURCES SPATIALES

L'intérêt pour les ressources spatiales ne cesse d'augmenter et l'activité dans ce secteur est en pleine croissance. Le domaine des ressources spatiales est vaste, mais il est principalement axé sur l'utilisation des ressources trouvées sur la Lune, sur Mars et au-delà pour soutenir l'exploration spatiale et une nouvelle économie de l'espace. L'objectif est désormais de contribuer activement au développement d'un écosystème durable de ressources spatiales et d'identifier les opportunités de transfert de nouveaux concepts, technologies et services vers la Terre.

Le LIST occupe aujourd'hui une place de choix au cœur de ce nouvel écosystème européen. Nous bénéficions d'une forte visibilité et jouons un rôle clé dans la communauté avec l'ambition de devenir un centre d'excellence. Nous soutenons ce secteur en menant des activités de R&D pertinentes pour l'industrie, en formant la prochaine génération d'acteurs innovants dans le domaine des ressources spatiales et en développant des méthodes et des solutions durables.

— Success story #1 —

ACCÉLÉRER LES ACTIVITÉS DE RECHERCHE DANS LE DOMAINE SPATIAL

L'activité de recherche dans le domaine spatial a connu un essor important au sein du LIST en 2022. Plusieurs projets ont été lancés, notamment sous forme de partenariats avec des sociétés bien connues comme Airbus et AirLiquide ou encore la start-up luxembourgeoise MaanaElectric. Soutenue par une chaire PEARL du Fonds National de la Recherche (FNR), dotée de 3,7 millions d'euros sur cinq ans, Kathryn Hadler a pris la direction de l'European Space Resources Innovation Centre (ESRIC), premier centre d'innovation au monde entièrement dédié aux ressources spatiales. Cette scientifique de renommée internationale dans le domaine du traitement de la valorisation des minéraux dirige désormais le développement du centre, entourée d'un groupe de recherche axé sur les utilisations durables et responsables des ressources spatiales.

Le LIST a reçu un appareil de démonstration de l'Agence spatiale européenne (ESA), appelé l'Alchimiste. Celui-ci permet aux chercheurs de comprendre et d'améliorer le processus de production d'oxygène à partir du sol lunaire. Il sera rejoint par d'autres démonstrateurs et infrastructures de recherche en 2023.



Kathryn Hadler & Ainur Yerzhankyzy



Premier programme d'incubation d'entreprises ESRC

Success story #2

INCUBER LES ENTREPRISES SPÉCIALISÉES EN RESSOURCES SPATIALES GRÂCE AU PROGRAMME ESRC

Au sein du LIST, l'une des principales activités de l'European Space Resources Innovation Centre (ESRIC) consiste à soutenir le secteur commercial émergent dans le domaine des ressources spatiales. En 2022, le premier programme d'incubation d'entreprises au monde entièrement consacré aux ressources spatiales a été lancé. Le programme de soutien aux start-ups, issu d'une collaboration entre ESRIC, le Technoport et l'Agence spatiale européenne (ESA), a incubé les cinq premières start-ups retenues au cours du premier semestre 2022 à la suite d'un appel ouvert. Après trois mois de préparation, une start-up a été sélectionnée pour suivre deux années supplémentaires d'incubation. Il s'agit de la société polonaise Four Point. L'entreprise va établir une succursale au Luxembourg début 2023 et est actuellement hébergée au Technoport. Elle bénéficiera d'un soutien technique et commercial supplémentaire et d'un financement pouvant aller jusqu'à 200 000 euros pour ses activités.

Au-delà de cette première sélection, le programme a grandement bénéficié à l'écosystème lui-même, conduisant à la création de partenariats entre les cinq start-ups.

Success story #3

DÉCROCHER LA LUNE GRÂCE AU PREMIER CHALLENGE ESA-ESRIC SUR LES RESSOURCES SPATIALES

Les ressources spatiales sont un élément clé de la poursuite de l'exploration de l'espace. Aussi, l'identification des ressources d'intérêt, comme l'eau, est une partie essentielle du voyage. En collaboration avec nos collègues de l'Agence spatiale européenne (ESA), nous avons mis au point le premier Challenge ESA-ESRIC sur les ressources spatiales. Ce concours, qui vise à stimuler l'innovation, était ouvert aux équipes de tous les états membres de l'ESA et offrait comme prix un contrat pour développer la technologie présentée.

Un premier tour de la compétition s'est tenu aux Pays-Bas en 2021 et a permis de sélectionner cinq équipes pour la finale, qui s'est tenue à la Rockhal en septembre 2022. Pour l'occasion, la Rockhal a été transformée en une surface lunaire temporaire, avec de la poussière «lunaire», des cratères et un atterrisseur. Les cinq équipes se sont affrontées tout au long de la semaine pour cartographier une zone de la «Lune». Le dernier jour, le site a été ouvert à l'industrie, aux invités et aux écoliers qui avaient participé à un tirage au sort. À l'issue du défi, l'équipe gagnante a signé un contrat de partenariat avec l'ESA et continue maintenant à développer sa technologie en vue de la Lune.



Space Resources Challenge 2022

Success story #4

UNE ÉQUIPE EN PLEINE CROISSANCE - DIVERSITÉ ET ÉQUILIBRE DES GENRES

Créée en 2020, l'équipe de l'European Space Resources Innovation Centre (ESRIC) a continué à s'agrandir en 2022. En avril, la nouvelle Directrice, Kathryn Hadler, a pris ses fonctions et a rapidement été rejointe par plusieurs autres collaborateurs. Actuellement composée de 16 personnes, ESRIC est fier d'inclure des experts du monde entier, rassemblant des connaissances et des compétences du Royaume-Uni, de l'Allemagne, de l'Espagne, de la France, de la Croatie, de l'Italie, de la Roumanie, du Mexique, du Canada, du Kazakhstan, de l'Inde ainsi que du Luxembourg. En plus de cette diversité culturelle, ESRIC a atteint un équilibre entre hommes et femmes de 44 %.



L'équipe ESRIC





**NOS NOUVELLES
INFRASTRUCTURES
DE RECHERCHE**

Notre infrastructure de pointe est un des 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 2022, le LIST a poursuivi ses travaux d'expansion et de réorganisation des infrastructures de recherche et de technologie.

ZOOM SUR QUELQUES INFRASTRUCTURES CLÉS



Laboratoire de dépôt physique en phase vapeur

À HAUTCHARGE

- Les premiers travaux d'extension ont commencé en février dans un hall industriel d'environ 3400 m² à proximité de nos premiers laboratoires. L'installation d'un équipement de 18 m de long utilisé pour réaliser du dépôt physique en phase vapeur (ou PVD pour l'anglais physical vapor deposition) a débuté. Il sera opérationnel mi-2023.
- Juste à côté, l'aménagement de 1350 m² de laboratoires pour le département Environnement doit notamment permettre d'accueillir des bioréacteurs, dont le volume peut atteindre 300 litres, plus proches des besoins de nos partenaires. Non loin de là, des nouveaux bureaux et deux nouvelles salles de réunion ont également été aménagés par le LIST dans un bâtiment situé sur le site. Deux équipes de recherche ont pu investir les lieux.





Laboratoire ESRIC

A BELVAUX

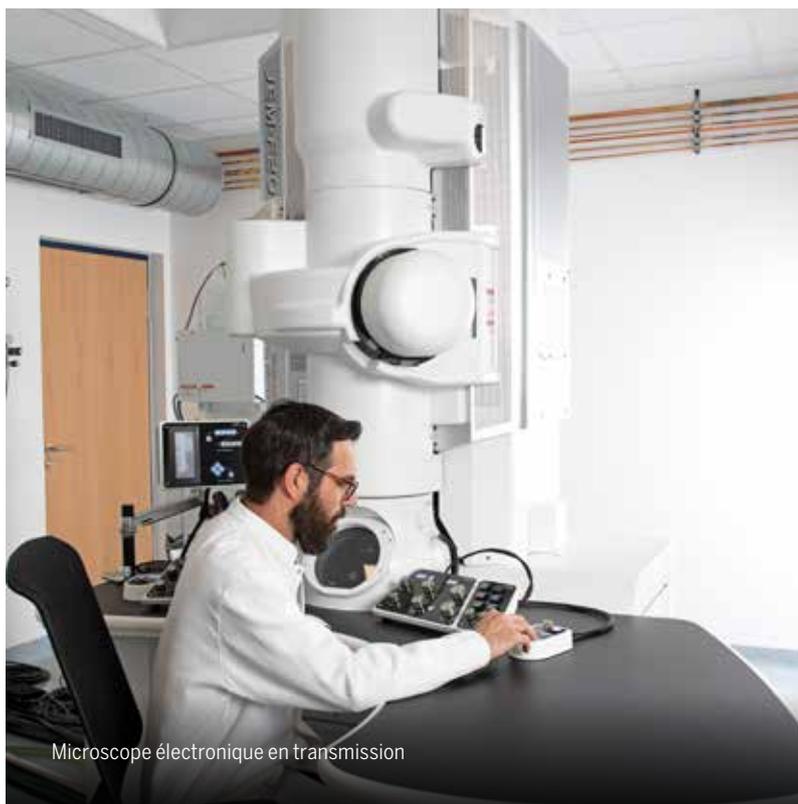
- La plateforme Advanced Characterization est désormais équipée d'un Microscope électronique en transmission (ou Transmission electron microscopy -TEM- en anglais) qui utilise un faisceau d'électrons transmis à travers un échantillon très mince pour générer une image à fort grossissement. En parallèle, la société CEBI et le LIST ont unis leurs forces et leurs compétences pour créer la première Plateforme Nationale de Caractérisation et d'Essais afin de fournir un cadre unique offrant des services complets pour le Luxembourg et au-delà.
- Le bâtiment accueille désormais un nouveau laboratoire pour le projet innovant FRAGOLA (FRequence AGile Optical LAttices) sur le développement de diagnostics laser et d'applications photoniques.
- Les laboratoires ESRIC ont pris forme avec l'arrivée de certains équipements et l'exécution de quelques travaux techniques. Le nouveau département du LIST qui s'intéresse à l'utilisation des ressources spatiales devrait prochainement pouvoir prendre pleinement possession de l'espace de 150m².
- Enfin, un laboratoire de simulation en temps réel avec capacité de hardware-in-loop (RT-HIL) et un laboratoire permettant de poursuivre des tests de fongicides ont été aménagés.

A BELVAL

- Un laboratoire dédié aux futures technologies et applications des réseaux sans fil a vu le jour. Son objectif principal est de construire un jumeau numérique de réseau 6G ouvert dans les années à venir, servant d'interface entre la recherche et l'industrie dans l'UE et au Luxembourg. Dans le même bâtiment, le nouveau laboratoire de réalité mixte permet aux chercheurs de développer de nouvelles technologies de réalité augmentée et virtuelle. Le laboratoire comprend un système de positionnement 3D qui permet également l'interaction entre les objets du monde réel et les mondes numériques.



Nouveau laboratoire 5G et 6G

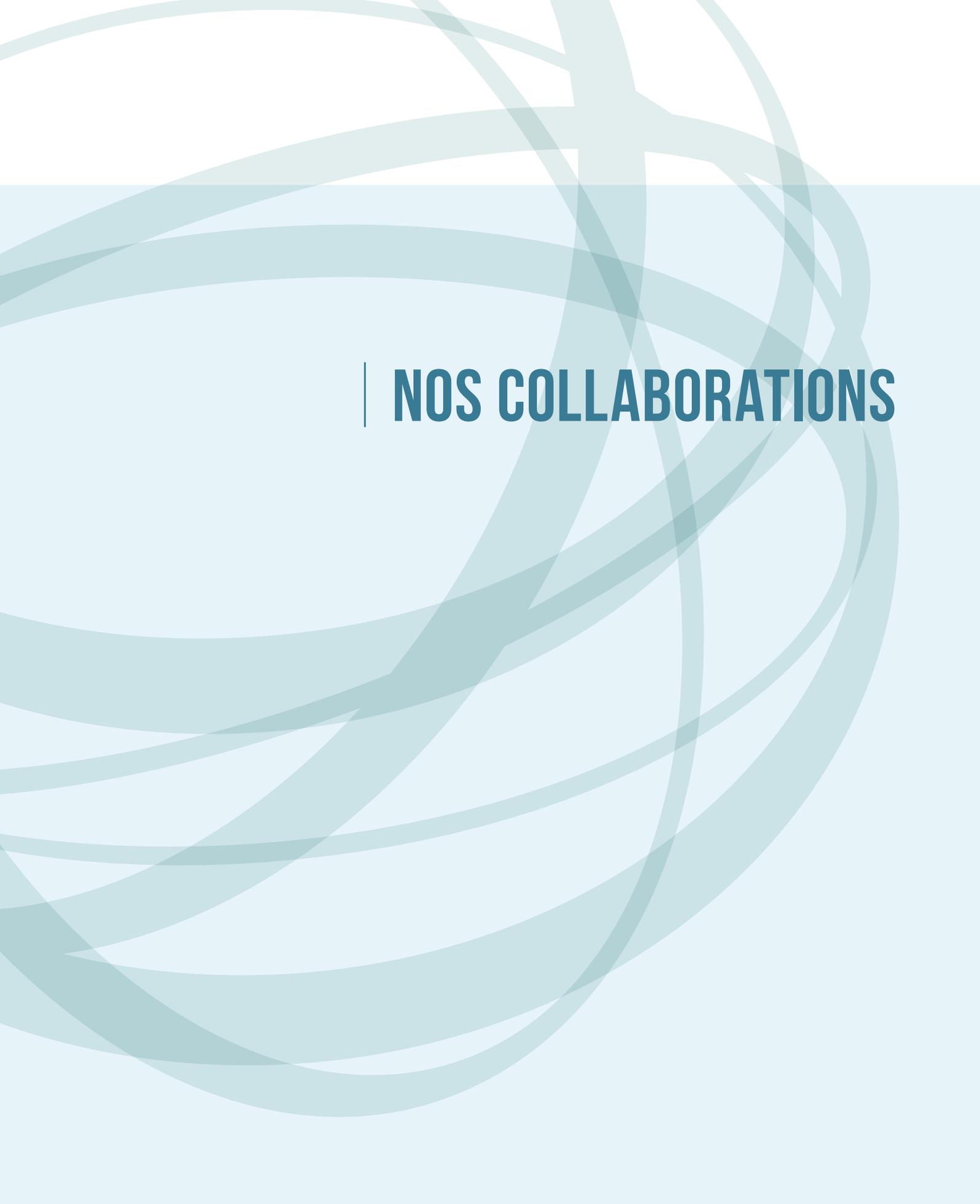


Microscope électronique en transmission



Nouveau laboratoire de réalité mixte





| **NOS COLLABORATIONS**

« L'avantage de travailler avec un partenaire comme le LIST est que l'approche est différente, car un partenaire de recherche, contrairement à un prestataire, s'intéresse aux résultats à long terme et sa principale motivation n'est pas de réaliser des bénéfices commerciaux. Cela nous soulage un peu de la pression qui pèse sur nous. Et comme le LIST compte une grande variété de spécialistes, nous avons accès à des personnes ayant des points de vue différents dans notre domaine, ce qui rend la collaboration très intéressante. »

Frédéric-Michael FOETELER
Ingénieur, Institut Luxembourgeois de
Régulation (ILR)



TÉMOIGNAGES



« Le LIST joue un rôle majeur pour Circuit Foil. Tout d'abord, l'expertise technique et les équipements de recherche de pointe du LIST constituent un avantage. Le deuxième aspect est la recherche fondamentale qui y est menée, que Circuit Foil ne pouvait pas entreprendre par manque de temps, de personnel et de compétences. »

Julie MOUZON,
Directrice R&D, Circuit Foil



« La collaboration avec le LIST a pour but de déployer une idée innovante, de la rendre opérationnelle pour qu'elle fonctionne, d'en faire une véritable expérience. Pour cela, nous avons besoin de comprendre à l'avance les données à collecter pour que notre essai, notre expérience, soit finalement un bon prototype. Le LIST nous a apporté tout cela : cette structure opérationnelle avec un état d'esprit scientifique et de recherche. Le LIST nous a finalement ouvert la voie. »

Omar MAATAR,
Directeur Innovation, Compagnie Luxembourgeoise d'Entreprises (CLE)

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 entreprise. 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.

PARTAGER NOS CONNAISSANCES AVEC LA SOCIÉTÉ ET LES ENTREPRISES

Le LIST est un acteur incontournable de son territoire, non seulement par ses missions de recherche et de technologie, mais aussi par la valeur ajoutée économique et sociale que nous générons. Nous jouons un rôle important dans la dynamique de nos partenaires institutionnels, industriels et socio-économiques, en leur facilitant l'accès à l'expertise scientifique et technologique.

Soucieux de promouvoir la diffusion de la connaissance et de la culture scientifique, le LIST s'est toujours engagé à promouvoir le dialogue entre la science, la technologie et la société : c'est sur les fondements de ce partage que nous pouvons assurer ensemble une transition efficace.

Pour réaliser notre ambition, nous avons organisé et contribué à de nombreux événements à destination du plus grand nombre.

TECH DAY 2022 : UNE PLATEFORME DE PARTAGE

«Sortez des sentiers battus et donnez vie à vos ambitions !» Telle était la devise de la quatrième édition du Tech Day organisé par le LIST le 15 juin 2022 qui a réuni un peu plus de 300 participants à la Maison des Arts et des Étudiants à Belval. Environ 200 entreprises au total ont été recensées sur la journée.

Nos chercheurs ont présenté sept technologies phares développées au LIST dans le cadre du «Tech Village», dont un «méga» stand intitulé «Hydrogène : un élément clé de la transition énergétique».

Nos partenaires institutionnels et industriels ainsi que le grand public ont également découvert nos nouveaux accords de coopération avec Goodyear, Schroeder & Associés SA dans le domaine de l'eau, de la construction et de la mobilité, et avec Telindus, une marque de Proximus, afin de stimuler la croissance de la 5G au Luxembourg dans le secteur des entreprises.



« Le premier objectif du Tech Day est de faire connaître le LIST auprès du grand public. C'est également l'occasion pour nos chercheurs de présenter les résultats de leurs travaux de recherche des dernières années et les projets extraordinaires sur lesquels ils travaillent. Enfin, il s'agit également de nouer des liens avec nos partenaires et de montrer à quel point nous pouvons apporter une contribution pertinente à leurs activités très diverses. »

Eva KREMER,
Présidente du Conseil d'administration



Georges Thielen s'est vu décerner le LIST Lifetime Award 2022



Signature d'un accord de collaboration avec Telindus



Ouverture du LIST Tech Day 2022



LIST Tech Day 2022: Tech Village



Signature d'un accord de partenariat avec Schroeder et Associés



Allocution du Ministre de l'Economie Franz Fayot

PARTAGER NOS CONNAISSANCES AVEC LA SOCIÉTÉ ET LES ENTREPRISES

PRÉSENTER NOS TRAVAUX AU PLUS GRAND NOMBRE

Devenu un événement clé pour la recherche au Luxembourg, les Researchers' Days offrent aux scientifiques une plateforme unique pour présenter leur travail à un large public. Lors de ces deux journées dédiées à la vulgarisation scientifique dont une destinée aux lycéens du Luxembourg, nos chercheurs ont présenté la diversité de leurs projets au travers de cinq ateliers thématiques dédiés aux plantes, à la 5G, aux interactions entre les ondes et les champs et la matière, la récupération d'énergie et l'eau comme ressource indispensable au développement d'une présence robotique et humaine durable dans l'espace.

L'édition 2022 du FNR Science Image Competition, qui vise à exposer la beauté de la recherche et promouvoir la culture scientifique au Luxembourg, a récompensé plusieurs chercheurs du LIST. Les photographies « This is Plasma » de Marta Ferreira, « Microcarriers » de Charlotte Stoffels, « Telescope » d'Olivier Parisot, « Lost lake » de Jean-Baptiste Burnet et « The Hummingbird Hawk Moth » d'Alain Dohet ont été primées.

Nos chercheurs ont présenté des solutions luxembourgeoises labellisées par la Fondation Solar Impulse par LIST/SOLAR IMPULSE lors du salon national dédié aux acteurs et aux solutions de la cause climatique, KlimaExpo 2022. Certains ont également contribué aux actions de communication de Research Luxembourg, une initiative commune à l'ensemble des acteurs de la recherche au Luxembourg.



Researchers' Days



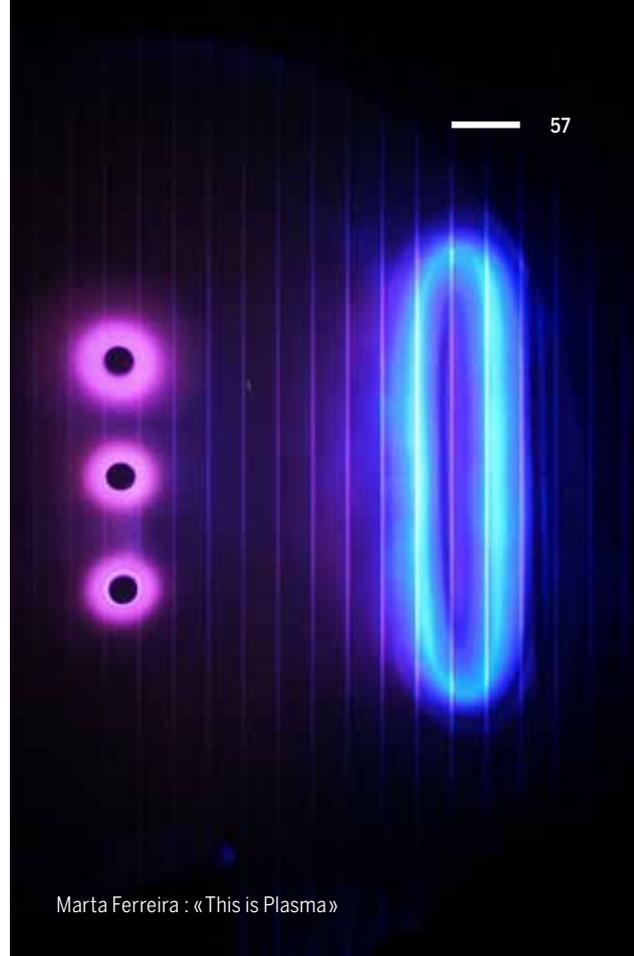
Researchers' Days



Visite du Grand-Duc, de la Ministre de l'Environnement, du Climat et du Développement durable Joëlle Welfring, du Ministre de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire Claude Turmes et du vice-président du Parlement Européen Marc Angel à notre stand à la Klima Expo



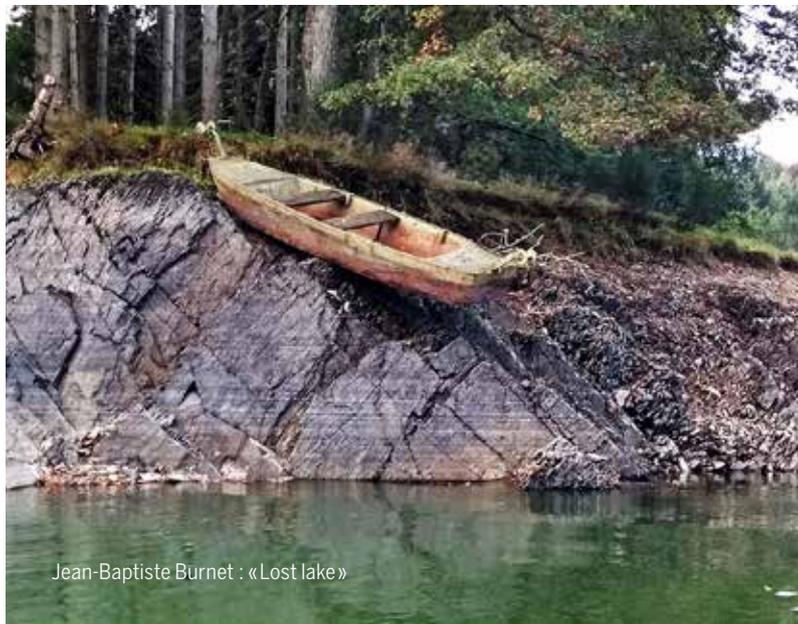
Alain Dohet : « The Hummingbird Hawk Moth »



Marta Ferreira : « This is Plasma »



Charlotte Stoffels : « Microcarriers »



Jean-Baptiste Burnet : « Lost lake »



Olivier Parisot : « Telescope »

A

- Administration des Ponts et Chaussées
- AdwäisEO
- Agora
- Airbus
- Airbus Defence and Space
- Air Liquide
- Alstom
- Anisoprint
- Arcelor Mittal
- Armacell
- AXA Assurance Luxembourg

B

- Bakertilly
- BGL BNP Paribas
- BrighterBins

C

- CCB
- CEA
- CEBI
- Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)
- Centre National de Formation Professionnelle Continue (CNFPC)
- Ceratizit
- Chambre d'Agriculture Luxembourg
- Cimalux
- Circuit Foil Luxembourg
- CLE
- Commission nationale pour la protection des données (CNPD)
- Convis
- Creos

D

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

E

- Electricis
- Encevo
- Energipark Réiden
- Equans
- European Space Agency (ESA)
- Everis

PARTENAIRES RDI AU LUXEMBOURG ET EN EUROPE

F

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

G

- GomSpace
- Goodyear
- Gradel
- Green Power Storage Systems
- Guala Closures

H

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

I

- Institut fir biologesch Landwirtschaft an Agrarkultur Luxemburg (IBLA)
- Institut belge des services postaux et des télécommunications (IBPT)
- IEE
- IKO
- Institute for Training in the Construction Sector (IFSB)
- Incert
- Infrachain
- Institut luxembourgeois de régulation (ILR)
- Intrasoft international
- Institut Supérieur de l'Économie (ISEC)
- ispace

K

- Kronospan

L

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

M

- Met-Lux
- Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et du Développement rural
- Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (MESR)
- Ministère de l'Economie
- Ministère de l'Environnement, du Climat et du Développement durable (MECDD)
- Ministère de la Digitalisation
- Ministère de la Santé
- Mondorf-les-Bains
- 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
- Prosud
- Proximus

R

- Research Luxembourg
- RoamsysNext
- Rotarex
- RSS Hydro

S

- Sabeu
- Schroeder et Associés
- Sciex
- SecurityMadeIn.lu
- Service des média, de la connectivité et de la politique numérique
- Siden
- Sidero
- Sisaf
- Service Moyens Accessoires (SMA)
- SmartEnds
- Spuerkeess
- ST Life augmented
- Succy
- Syndicat des eaux du barrage d'Esch-sur-Sûre (SEBES)
- Syndicat intercommunal pour l'assainissement du bassin de la Chiers (SIACH)

T

- Telindus
- Thales Alenia
- Toyota

U

- Université du Luxembourg
- Université de Lorraine

V

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

W

- Wagner-Schaffner
- Wasdi
- Westpole
- Wide andCo
- World Alliance

X

- Xnergi

Z

- Zeiss
- ZeroK Nanotech

3

- 3D-Oxides





| LE LIST EN BREF

THÈSES SOUTENUES

ACHARYA Kishor

"Site-selective atmospheric pressure plasma-enhanced chemical vapor deposition process for micrometric deposition - Simulation and experimental study", Université du Luxembourg, 08/11/2022

ARUCHAMY Naveen

"Fatigue and breakdown studies of solution deposited oxide ferroelectric thin films", Université du Luxembourg, 16/09/2022

AVRAMIDIS Iason

"Smart, sustainable, and grid-friendly buildings: Optimal integration in LV grids", KU Leuven (B), 01/07/2022

AYOUB Vita

"Assimilation de données d'observation satellitaire d'inondation pour une meilleure paramétrisation des modèles hydrauliques à large échelle", Université de Montpellier (F), 02/12/2022

BHUSARI Rutuja

"Metal-oxide nanostructures for low power gas sensing", Université du Luxembourg, 22/04/2022

CHUZEVILLE Lauriane

"Synthesis of supported Liquid crystal on echogenic capsules as targeted ultrasound contrast agent", Université du Luxembourg, 25/05/2022

DA CUNHA Tairan

"Study of the (nano)fillers smart functionality and effect on tire performance", Université du Luxembourg, 15/07/2022

DI MAURO Concetta

"Data Assimilation of SAR-derived flood extent maps into flood forecasting models via Particle Filters", Université de Technologie Vienne (AT), 29/11/2022

DUTTA Sangita

"Theoretical investigation of ferroelectricity in HfO₂ and related materials", Université du Luxembourg, 03/06/2022

FABIANI Ginevra

"Tree water use across landscapes and time", Université de Florence (I) et Université du Luxembourg, 01/12/2022

FEUCHEROLLES Maureen

"Maldi-Tof-enabled subtyping and antimicrobial resistance screening of the food and waterborne pathogen *Campylobacter jejuni*", Université du Luxembourg, 17/06/2022

GUNAYDIN Abdullah

"Synthesis of poly(isobornyl methacrylate) and related block copolymers and their application for the reinforcement of styrene butadiene rubber", Université du Luxembourg, 28/04/2022

HOEK VAN DIJKE Anne

“The link between vegetation functional traits and evapotranspiration at multiple spatial scales”, Université du Luxembourg, 10/06/2022

KHANNA Nikhar

“Metamaterial design and elaborative approach for efficient selective solar absorber”, Université du Luxembourg, 09/09/2022

LAI Ngoc Bao

“Integration of Grid Supporting Functionalities into Renewable Generation Systems Considering Communication Delays”, Université Polytechnique de Catalogne (E), 23/03/2022

LIU Bowen

“Post-quantum Remote Device Authentication and Data Analysis Protocol for IoT”, Université du Luxembourg, 17/10/2022

MALEKZAD Hedyeh

“Applying gradients to get optimal surface chemistry and topography for high performance biosensing”, Université du Luxembourg, 15/06/2022

MANISEKARAN Ahilan

“Renewable Lignin Nanoparticles as an Alternative Reinforcing Filler for Elastomers”, Université du Luxembourg, 21/11/2022

MILENOVIC, Milan

“Effect of climate change on interactions between whiteflies, parasitoids, endosymbionts, and the host plant”, Université de Catane (I), 24/11/2022

MORETTO Enzo

Titre confidentiel, Université du Luxembourg, 12/10/2022

NOUCHOKGE Youri

“Scale law on energy efficiency of electrocaloric materials”, Université du Luxembourg, 09/09/2022

OST Alexander

“Investigation of Surface Sputtering and Ionization Processes under Non-Reactive Light Ion Irradiation: towards 4D SIMS Imaging”, Université du Luxembourg, 07/12/2022

PADMANATHAN Hiron Raja

“Crack Initiation and early crack growth in silica-filled solution styrene butadiene rubber”, Université du Luxembourg, 20/05/2022

TORELLÓ MASSANA Àlvar

“Electrocaloric coolers based on ceramic multilayer capacitor”, Université du Luxembourg, 07/07/2022

ZHAO Jie

“Large-scale flood mapping using SAR remote sensing data”, Université de Technologie de Vienne (AT), 25/10/2022



CONSEIL D'ADMINISTRATION 2022



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

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

Benoît Ojtjacques

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

Owner, 36 Square Capital (Espagne)

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



Dr Thomas Kallstenius
Directeur Administratif et Financier
ad interim

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 28 avril 2022.

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

BILAN AU 31 DÉCEMBRE 2022

Actif (en euros)	2022	2021
Actif immobilisé		
Immobilisations incorporelles	722.546,03	692.085,78
Concessions, brevets, licences, marques ainsi que droits et valeurs similaires	722.546,03	692.085,78
Immobilisations corporelles	40.384.156,30	28.649.828,80
Terrains et constructions	92.209,95	209.293,29
Installations techniques et machines	23.054.613,42	21.660.284,72
Autres installations, outillage et mobilier	2.610.895,50	2.461.630,58
Acomptes versés et immobilisations corporelles en cours	14.626.437,43	4.318.620,21
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	41.575.535,07	29.810.747,32
Actif circulant		
Stocks	567.570,88	512.659,04
Matières premières et consommables	567.570,88	512.659,04
Créances	32.208.997,94	33.273.972,55
Créances résultant de ventes et prestations de services	3.825.568,62	4.903.295,41
Autres Créances	28.383.429,32	28.370.677,14
Avoirs en banques, avoirs en compte de chèques postaux, chèques et encaisse	69.129.536,08	73.084.941,24
Total de l'actif circulant	101.906.104,90	106.871.572,83
Comptes de régularisation	2.185.990,99	1.350.809,81
Total du bilan (actif)	145.667.630,96	138.033.129,96
Capitaux propres et passif (en euros)	2022	2021
Capitaux propres	95.469.279,78	95.805.865,66
Dotations	37.518.673,70	37.518.673,70
Réserves	58.287.191,96	50.520.865,96
Résultats reportés	-	3.365.217,31
Résultat de l'exercice	-336.585,88	4.401.108,69
Provisions	180.000,00	320.000,00
Dettes	43.753.136,69	37.574.449,82
Acomptes reçus sur commandes pour autant qu'ils ne sont pas déduits des stocks de façon distincte	28.595.040,55	27.774.252,04
Dettes sur achats et prestations de services	7.788.186,99	3.821.098,86
Autres dettes	7.369.909,15	5.979.098,92
Dettes fiscales	23.559,22	1.504.803,32
Dettes au titre de la sécurité sociale	1.848.555,47	1.750.617,65
Autres dettes	5.497.794,46	2.723.677,95
Comptes de régularisation	6.265.214,49	4.332.814,48
Total du bilan (capitaux propres et passif)	145.667.630,96	138.033.129,96

COMPTE DE PROFITS ET PERTES POUR L'EXERCICE 2022

	2022	2021
Chiffre d'affaires net	6.797.698,87	7.274.166,23
Autres produits d'exploitation	81.140.226,56	75.869.195,81
Matières premières et consommables et autres charges externes	-19.925.540,73	-15.362.225,78
Matières premières et consommables	-6.511.280,82	-5.232.580,20
Autres charges externes	-13.414.259,91	-10.129.645,58
Frais de personnel	-57.933.144,64	-53.504.911,99
Salaires et traitements	-51.203.727,06	-47.217.795,12
Charges sociales	-6.595.026,16	-6.163.519,69
couvrant les pensions	-4.004.195,16	-3.731.276,38
autres charges sociales	-2.590.831,00	-2.432.243,31
Autres frais de personnel	-134.391,42	-123.597,18
Corrections de valeur	-7.419.742,73	-7.062.132,46
sur frais d'établissement et sur immobilisations corporelles et incorporelles	-7.373.577,73	-6.859.563,63
sur éléments de l'actif circulant	-46.165,00	-202.568,83
Autres charges d'exploitation	-2.962.295,39	-2.765.218,89
Autres intérêts et autres produits financiers	51.249,77	16.071,38
provenant d'entreprises liées	-	-
autres intérêts et produits financiers	51.249,77	16.071,38
Corrections de valeur sur immobilisations financières et sur valeurs mobilières faisant partie de l'actif circulant	-	-
Intérêts et autres charges financières	-85.037,59	-63.835,61
concernant des entreprises liées	-	-
autres intérêts et charges financières	-85.037,59	-63.835,61
Résultat après impôts sur le résultat	-336.585,88	4.401.108,69
Résultat de l'exercice	-336.585,88	4.401.108,69



IMPRESSUM

Editeur

Luxembourg Institute of Science and Technology

Mise en page

Luxembourg Institute of Science and Technology

Crédits photographiques et iconographiques

Olivier Minaire, blitz_agency, Studion Photography,
Luxembourg Institute of Science and Technology

© LIST, Esch-sur-Alzette | Juillet 2023

Suivez-nous sur les réseaux sociaux



www.list.lu



