

UNYS RECHERCHE



Unys,
ce sont six
thématiques
de recherche à forts
enjeux

Ressources
& environnement

Énergie

Matériaux

Santé

Société

Numérique

LITHIUM

Un procédé d'extraction « zéro déchet » développé à Nancy

Le laboratoire **GeoRessources** développe une recherche partenariale avec le groupe industriel **Imerys** dans l'optique de pouvoir produire prochainement du lithium en France. Un enjeu pour l'industrie minière et la transition énergétique comme l'explique **Anne-Sylvie André-Mayer**, experte **Unys**, professeur en métallogénie à l'Université de Lorraine et directrice de GeoRessources.

Compte tenu de ses propriétés, le lithium est l'un des composants essentiels des batteries de téléphones portables ou de voitures électriques. Autant dire que sa consommation va fortement progresser dans les années à venir. Petit souci, la France (comme l'Europe) ne dispose pas de gisement exploité.

Pas encore en tout cas, puisqu'un gros projet minier appelé **Emili** est lancé par le groupe **Imerys** dans l'Allier. « *Le site industriel de Beauvoir produit du kaolin pour la céramique depuis le XIX^e siècle. Il abrite un gisement avec des quantités et des teneurs de lithium très attractives* », souligne **Anne-Sylvie André-Mayer**, professeur en métallogénie à l'Université de Lorraine et directrice du laboratoire **GeoRessources** qui mène de multiples recherches avec Imerys, en partenariat avec différents laboratoires lorrains comme le Centre de recherches pétrographiques et géochimiques (**CRPG**) et le Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (**Liec**) deux structures codirigées par le CNRS et l'Université de Lorraine.

Un processus d'extraction zéro déchet

« Grâce à ces expertises multiples et complémentaires, nous sommes en mesure de mener des recherches avec une approche intégrée sur l'ensemble de la chaîne de valeur de l'industrie minière, depuis la connaissance géologique des ressources jusqu'au recyclage (notamment des batteries) en passant par l'exploitation, le traitement et la séparation des minéraux et métaux », explique Anne-Sylvie André-Mayer. Dans le cadre du projet Emili, différentes recherches sont menées pour comprendre la formation géologique de ce gisement, notamment les ca-



© DR

« Nous sommes en mesure de mener des recherches avec une approche intégrée sur l'ensemble de la chaîne de valeur de l'industrie minière, depuis la connaissance géologique des ressources minérales jusqu'au recyclage en passant par l'exploitation, le traitement et la séparation des minéraux et métaux. »

Anne-Sylvie André-Mayer, experte Unys, professeur en métallogénie et directrice du laboratoire GeoRessources (CNRS, Université de Lorraine)



« L'ambition est d'avoir la capacité de covaloriser tous les minéraux constitutifs du granite de Beauvoir afin de vérifier la pertinence du procédé et d'accumuler de précieuses données. »

Anne-Sylvie André-Mayer,

ractéristiques minéralogiques, connaissances indispensables pour le développement de procédés innovants de séparation des minéraux porteurs du lithium présents dans le minerai. Un process jugé fiable a été mis au point. Et il a pour gros intérêt d'être peu impactant pour l'environnement en se rapprochant d'une extraction « zéro déchet », à savoir une covalorisation de l'ensemble des minéraux constitutifs du granite de Beauvoir.

20 tonnes de minerai traités par SteVAL

Ce procédé novateur est actuellement testé à l'échelle semi-industrielle. Pour ce faire, GeoRessources met à profit son usine-pilote baptisée **SteVAL** (Station Expérimentale de Va-

lorisation des Matières Premières et des Substances Résiduelles). Ce plateau technique de 2000 m² et doté de plus de 150 équipements est unique au monde dans le domaine universitaire. « En décembre 2024, nous avons reçu 20 tonnes de granite de Beauvoir confiés par Imerys. L'ambition est d'avoir la capacité de covaloriser tous les minéraux constitutifs du granite de Beauvoir en séparant et récupérant le lépidolite, minéral porteur du lithium, mais aussi tous les autres minéraux présents dans la roche afin de vérifier la pertinence du procédé et d'accumuler de précieuses données », explique la directrice du laboratoire. Les enjeux, tant économiques que sur la décarbonation de l'énergie associée à la mobilité, notamment pour la production de batteries pour les véhicules électriques

MÉTAUX STRATÉGIQUES

Innover pour sécuriser et diversifier les approvisionnements

Face à l'évolution de la consommation en métaux stratégiques et critiques, il importe pour l'Europe de sécuriser l'accès aux ressources et de développer le recyclage pour diversifier les approvisionnements, tout en prenant en considération les enjeux environnementaux et énergétiques. Avec **Unys**, le programme de recherche **Cirset** va élargir les travaux du **LabEx Ressources21** qui portaient sur les ressources du XXI^e siècle, avec une approche transversale du cycle de vie des métaux stratégiques.

"Ce programme de recherche est unique dans le monde académique car il est interdisciplinaire et recoupe l'intégralité de la chaîne de valeur du cycle de vie des métaux stratégiques dont nos voitures, nos ordinateurs ou nos smartphones, ont besoin pour fonctionner », explique **Alexandre Chagnes**, expert **Unys** et chercheur au laboratoire **GeoRessources** et directeur scientifique du

programme **Cirset**. Le LabEx Ressources21, financé dans le cadre du Programme Investissements d'Avenir, a été créé en 2011 et alimentera le programme de recherche de **Cirset** qui porte, plus globalement, sur les ressources du XXI^e siècle.

Cette approche globale vise à traiter la question de la gestion des métaux stratégiques sous toutes ses facettes, de la connaissance des gisements à la production de produits semi-finis ou finis en passant par l'extraction des minerais et le développement du recyclage. « Et cela en intégrant les enjeux environnementaux et économiques, la nécessaire gestion de l'eau et de l'énergie ou bien encore les dimensions humaines et sociales (liées à l'acceptabilité territoriale) », précise **Michel Cathelineau**, expert Unys, directeur de recherche CNRS au laboratoire Georessources, qui est un spécialiste des ressources minérales. Au sein de LabEx R21, il concentre ses recherches sur la caractérisation des minerais et la compréhension de la formation des gisements.

Par ailleurs, une démarche « d'aide à la décision », pour faire les bons choix de technologies, est lancée dans le cadre du programme **HERawS** animé par l'**Institut Jean Lamour** travaillant dans le domaine des matériaux.

Deux plateformes innovantes et complémentaires

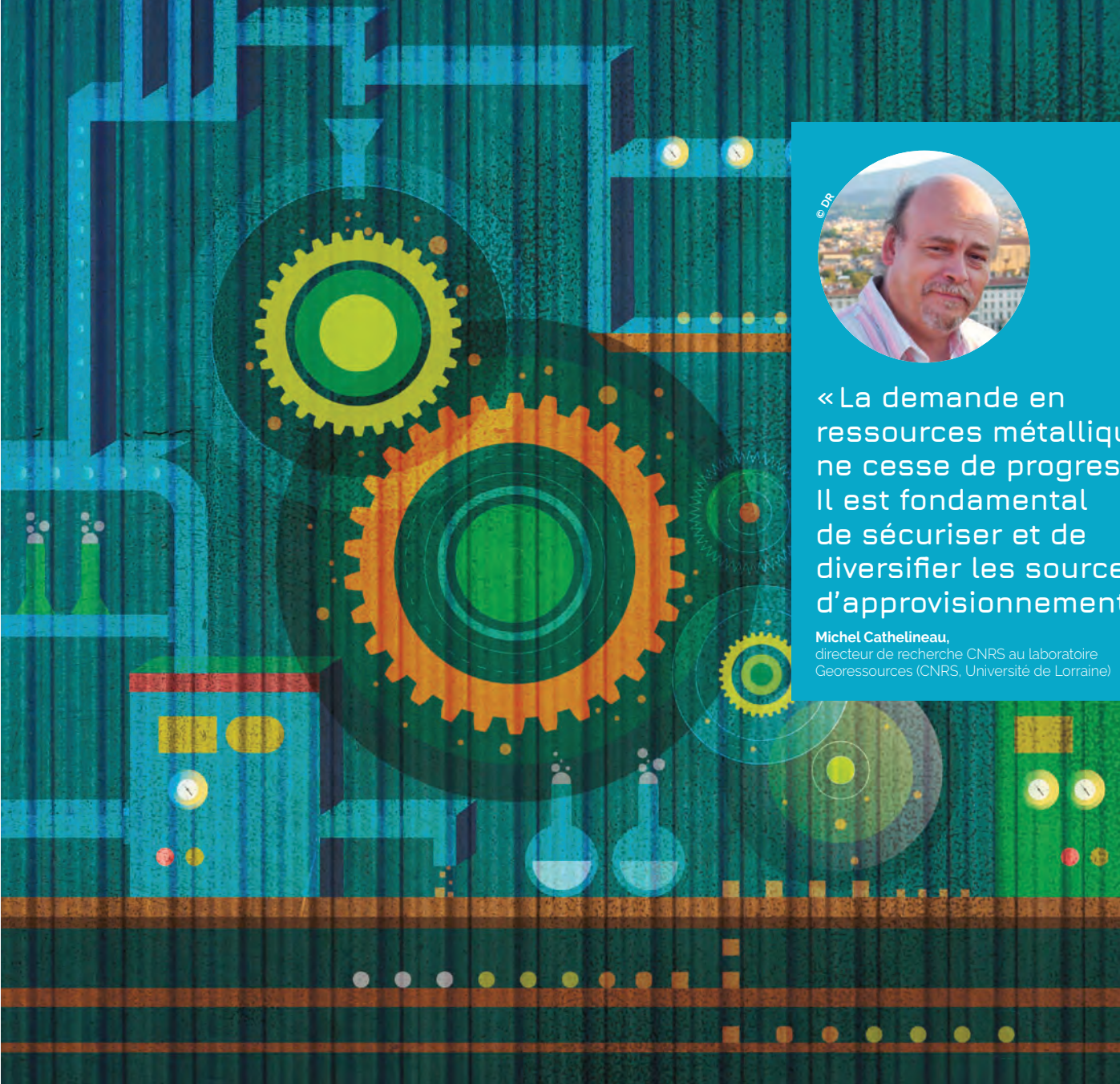
Sur le volet recyclage ou éco-circulaire, deux plateformes sont activées : **SteVAL** (STation Expérimentale de VALorisation) et **HydroVAL**. « Pour le dire simplement, SteVAL est une



« La start-up Weemet collabore déjà avec des industriels. Elle ambitionne de réaliser

une première levée de fonds pour accélérer son développement. »

Alexandre Chagnes, expert Unys, Professeur à l'Université de Lorraine au laboratoire GeoRessources (CNRS, Université de Lorraine), directeur scientifique du Cirset.



« La demande en ressources métalliques ne cesse de progresser. Il est fondamental de sécuriser et de diversifier les sources d'approvisionnement. »

Michel Cathelineau,
directeur de recherche CNRS au laboratoire
Georessources (CNRS, Université de Lorraine)

usine qui valorise les déchets industriels (batteries, cartes électroniques...), les métaux ou les roches pour obtenir un concentré riche en matériaux tels que le cuivre, l'or, l'étain... HydroVAL prend ensuite le relais pour traiter ce concentré afin de le purifier et ainsi permettre la production de produits semi-finis ou finis », explique Alexandre Chagnes. À chacune des étapes du process, des travaux de recherches sont menés et des technologies développées pour gagner en performance en termes de qualité, d'impact environnemental ou de coût. Plus le concentré sera pur, plus il sera facile à traiter et à valoriser par les industriels, par exemple. L'ambition est donc d'apporter de nouvelles briques technologiques tout particulièrement dans le domaine des procédés hydrométallurgiques (par voie liquide) permettant la séparation des métaux.

De la recherche académique à l'industrie

Avec des avancées notables puisque la connexion recherche académique-industrie est opérée. La création de la start-up **Weemet** en est une illustration. Incubée par l'Université de

Lorraine, elle déploie un procédé innovant visant à extraire et à valoriser les métaux contenus dans les cartes électroniques (déchets) comme le cuivre. « Et, demain, l'or, l'argent, le tungstène... Les solutions de Weemet permettent d'obtenir des métaux d'une grande pureté, à coût bas, et de manière durable puisque le procédé ne nécessite pas de recourir à des technologies consommatrices de beaucoup d'énergie. La start-up qui collabore déjà avec des industriels ambitionne de réaliser une première levée de fonds, cette année, pour accélérer son développement », précise Alexandre Chagnes qui est l'un de ses cofondateurs. Ces innovations sont de première importance alors que le recyclage est un enjeu économique et géopolitique majeur pour l'ensemble des pays européens.

« La demande en ressources métalliques ne cesse de progresser compte tenu de l'évolution démographique et de l'émergence d'une classe moyenne dans des pays comme l'Inde ou la Chine. Il faut savoir qu'aujourd'hui, par exemple, 50% de la consommation mondiale de cuivre est destinée à "l'électrification" de la Chine. Il est donc fondamental de sécuriser et de diversifier les sources d'approvisionnement », conclut Michel Cathelineau.

VÉGÉTATION FORESTIÈRE

En difficulté face au changement climatique

Expert **Unys** et chercheur au laboratoire **Silva**, **Jérémy Borderieux** apporte des résultats inédits au niveau international sur l'adaptation de la végétation forestière au changement climatique. Ses travaux ont fait l'objet d'un article publié dans la prestigieuse revue *Nature Ecology and Evolution*.

Face au changement climatique, la végétation forestière tente de s'adapter. La littérature dédiée met en lumière le concept de thermophilisation qui désigne le phénomène par lequel le nombre d'espèces préférant des climats chauds augmente. Il fait plus chaud, alors des communautés de plantes mieux adaptées au réchauffement climatique se développent, pour le dire simplement.

Un autre concept étudié est celui d'homogénéisation (de la flore forestière) qui veut qu'en se remaniant, ces communautés finissent par toutes se ressembler, créant un sous-bois plus homogène.

De la thermophilisation à l'altération

Les travaux de recherche de **Jérémy Borderieux**, expert **Unys**, chercheur au laboratoire **Silva** qui ont fait l'objet d'une publication dans la revue *Nature Ecology and Evolution* (une référence internationale dans son domaine), viennent challenger ces concepts et hypothèses. Ils démontrent que le remaniement des communautés dû au changement climatique se fait principalement par la disparition des espèces de climat froid (devenues inadaptées) et non pas par l'arrivée de diverses espèces de climat chaud. La thermophilisation ne relève pas donc pas d'une adaptation des communautés de plantes mais plutôt d'une altération des communautés existantes. Sur les 756 espèces fréquentes dans les forêts métropolitaines qui ont été étudiées, 54% ont connu un déclin, 41% une expansion et 5% restent stables, révèlent les travaux. «*Ils montrent aussi que ces évolutions ne conduisent pas nécessairement à une homogénéisation de la flore forestière à l'échelle des territoires ou des forêts françaises, mais uniquement à une perte locale de diversité. La diversité des plantes vivant dans nos sous-bois se réduit, ce qui peut impacter toute la biodiversité, notamment les pollinisateurs. Et dès lors que le sous-bois évolue*



« La diversité
des plantes
vivant dans
nos sous-
bois se réduit,
ce qui peut
impacter toute
la biodiversité,
notamment
les pollinisateurs. »

Jérémy Borderieux, expert Unys,
chercheur au laboratoire Silva
(AgroParisTech, Inrae, Université de Lorraine)



« Il est stratégique de préserver la canopée, la partie la plus haute d'une forêt directement exposée aux rayons du soleil, si l'on veut conserver des communautés végétales locales. »

Jérémy Borderieux

on peut s'interroger sur les configurations qui vont émerger. Elles peuvent être connues comme totalement originales», explique Jérémy Borderieux.

L'impact des microclimats

Sa thèse intitulée « *Persistance ou adaptation de la flore forestière face aux effets conjugués du réchauffement climatique, de la fragmentation des forêts et du microclimat ?* » (dirigée par **Jean-Claude Gégout** et **Josep M. Serra-Diaz**) met aussi en lumière que les paysages forestiers abritent des communautés plus adaptées aux climats froids compte tenu de l'existence de microclimats. « *Ils sont notamment liés à la topographie et au couvert forestier qui assurent une protection contre la chaleur qui peut varier d'un endroit à un autre. D'où la nécessité de préserver stratégiquement cette canopée (la partie la plus haute d'une forêt directement exposée aux rayons du soleil) si*

l'on veut conserver des communautés végétales locales », précise le chercheur. Des mesures de la température du sous-bois ont notamment été effectuées dans une vallée des Vosges afin de mesurer l'effet de la canopée d'une part, et celui de la topographie, d'autre part, sur le microclimat forestier et les communautés. « *Nous avons ainsi pu montrer que la topographie l'emportait sur la canopée dans ce contexte* », précise Jérémy Borderieux.

Pour mener à bien ses recherches, le chercheur s'est appuyé sur l'Inventaire Forestier National (IFN) mis en œuvre par l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN), et plus précisément encore sur un échantillon composé de 14167 placettes réparties sur l'ensemble du territoire (sauf Corse).

FUSION NUCLÉAIRE

L'énergie du futur s'élabore à Nancy

Avec le projet et la machine **Spektre**, **Frédéric Brochard**, expert **Unys**, directeur de recherche CNRS à l'**Institut Jean Lamour**, fait avancer la recherche dans le domaine de la fusion nucléaire, une source d'énergie qui a de multiples vertus y compris sur le plan environnemental.

"Pour faire simple, la fusion nucléaire consiste à reproduire ce qui se passe au cœur d'une étoile, comme le soleil», explique **Frédéric Brochard**, expert **Unys**, directeur de recherche CNRS à l'**Institut Jean Lamour**, qui pilote le projet **Spektre** mobilisant différents laboratoires et financeurs (notamment la Métropole du Grand Nancy). La fusion nucléaire est à ne pas confondre avec la fission nucléaire qui est actuellement utilisée.

«La première vise à fusionner deux atomes légers pour en faire un plus gros, la seconde à diviser un gros atome pour en faire deux légers», résume le chercheur.

Une technologie vertueuse

Mais si la fission nucléaire est déjà opérationnelle, pourquoi s'intéresser à la fusion nucléaire ? Parce qu'elle cumule des atouts qui ne sont pas anodins. «La réaction de fusion nucléaire ne génère pas directement de déchets radioactifs. Et ceux induits en faibles quantités sur les parois du réacteur ont une durée de vie beaucoup plus courte que les déchets liés à la fission», précise Frédéric Brochard. Autre bénéfice non négligeable : le combustible nécessaire pour opérer est disponible partout sur terre et en abondance. Enfin, avec la fusion nucléaire, il ne peut pas y avoir de réactions en chaîne menant à des catastrophes comme Fukushima ou Tchernobyl. «La principale difficulté est de maintenir les conditions permettant d'entretenir les réactions de fusion, la perte de contrôle conduisant automatiquement à l'arrêt des réactions et du réacteur», résume le directeur de recherche.

150 millions de degrés

Pour l'heure, nul ne la maîtrise dans son entièreté. D'où le projet de recherche **Spektre**, qui est «incarné» par une machine qui n'a pas pour objet de reproduire des réactions de fusion



© DR

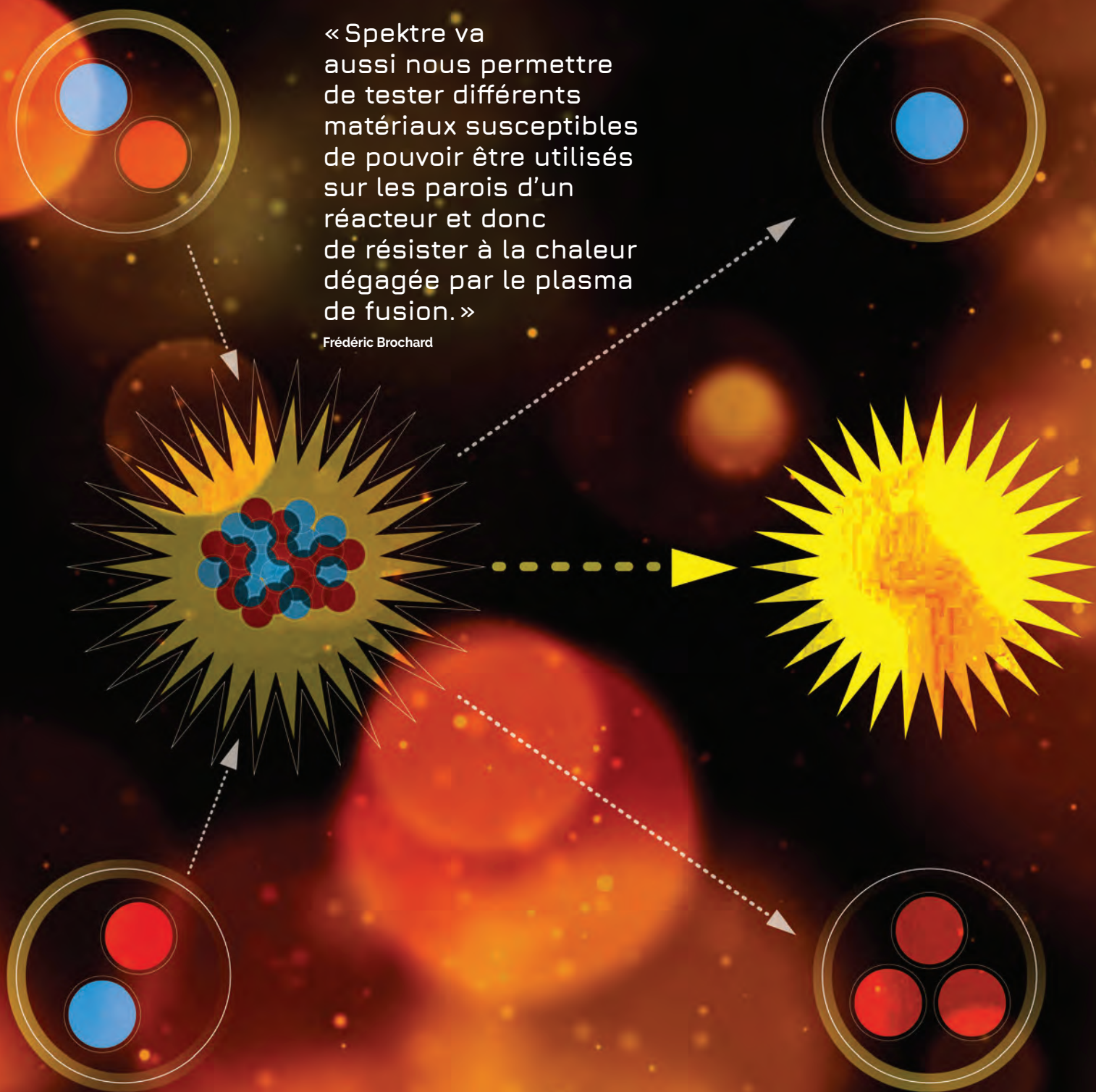
«La principale
difficulté de
la fission nucléaire
est de maintenir
les conditions
permettant
d'entretenir

les réactions de fusion,
la perte de contrôle conduisant
automatiquement à l'arrêt
des réactions et du réacteur.»

Frédéric Brochard, expert **Unys**,
directeur de recherche CNRS à l'**Institut Jean Lamour**
(CNRS, Université de Lorraine)

« Spektre va aussi nous permettre de tester différents matériaux susceptibles de pouvoir être utilisés sur les parois d'un réacteur et donc de résister à la chaleur dégagée par le plasma de fusion. »

Frédéric Brochard



nucléaire mais de comprendre des processus physiques qui sont à l'œuvre dans le réacteur. L'ambition est de mener des recherches en lien avec un «mode de chauffage» permettant d'atteindre 150 millions de degrés, dans des conditions bien définies. Ou bien encore de comprendre les turbulences du plasma afin d'expérimenter des solutions permettant d'organiser les flux. «La machine va aussi nous permettre de tester différents matériaux susceptibles de pouvoir être utilisés sur les parois d'un

réacteur et donc de résister à la chaleur dégagée par le plasma de fusion. Le métal liquide est, par exemple, une option», souligne Frédéric Brochard.

La machine Spektre, confectionnée en partenariat avec l'[Institut Max-Planck](#) de physique des plasmas (Allemagne), est entrée dans la phase finale de son assemblage et sera opérationnelle à l'automne 2025.

HYDROGÈNE

Dans le ciel comme sous terre

Lauréat de la Chaire de professeur junior **HyPSTAR** (Hydrogène : Production, SStockage, usAges, Recherche) hébergée au **Lemta** (Laboratoire Énergies et Mécanique Théorique et Appliquée), le chercheur **Giuseppe Sdanghi** travaille sur le développement d'un compresseur électrochimique d'hydrogène pour l'Agence Spatiale Européenne.

« L'Agence spatiale européenne (ESA) nous a confié la mission de faire du froid et même du froid extrême puisqu'il s'agit de descendre sous -250°C afin d'assurer le bon fonctionnement de capteurs embarqués dans l'espace », résume **Giuseppe Sdanghi**, expert Unys, détenteur de la Chaire de professeur junior **HyPSTAR** (Hydrogène : Production, SStockage, usAges, Recherche) et chercheur au **Lemta**. Plus précisément, le chercheur travaille au développement d'un compresseur électrochimique d'hydrogène pour des applications aérospatiales. « L'intérêt de recourir à la compression électrochimique de l'hydrogène dans ce domaine précis, c'est

de supprimer toutes les vibrations occasionnées par un compresseur mécanique, qui réduisent la qualité des observations », précise Giuseppe Sdanghi. Le principe en quelques mots consiste à l'aide de membranes équipées d'électrodes, à convertir une énergie électrique en hydrogène à haute pression qui, injecté dans une détente Joule-Thomson, permet de créer du froid. Et cela sans qu'aucune pièce n'entre en mouvement.

Des applications dans le domaine du stockage

Ces travaux de recherche qui ont abouti à la réalisation d'un prototype de compresseur d'hydrogène électrochimique, ont été menés dans le cadre d'un projet (suite à l'appel d'offres de l'ESA) qui s'est fini en février 2024. Mais cela ne signifie pas pour autant que Giuseppe Sdanghi passe à autre chose. « Mon souhait est de déposer des brevets car cette technologie peut intéresser d'autres secteurs d'activités, non pas dans l'espace mais sur la terre ferme », précise le chercheur. Et même sous terre puisqu'au registre des applications envisagées il y a toutes celles en lien avec les besoins en compression des réseaux de gaz mais également et surtout en lien avec le stockage souterrain de l'hydrogène dans des cavités salines.

La question du stockage de l'hydrogène qui fait également partie du domaine d'expertise et de recherche de Giuseppe Sdanghi, n'est pas anodine. L'hydrogène tient en effet une place prépondérante dans le processus de transition



« L'intérêt de recourir à la compression électrochimique de l'hydrogène, c'est de supprimer toutes les vibrations occasionnées par

un compresseur mécanique, qui réduisent la qualité des observations. »

Giuseppe Sdanghi, expert Unys, chercheur au Lemta (Université de Lorraine, CNRS), détenteur de la Chaire de professeur junior HyPSTAR



« Mon souhait
est de déposer
des brevets
car cette technologie
peut intéresser
d'autre secteurs
d'activités, non pas
dans l'espace
mais sur la terre
ferme »,
Giuseppe Sdanghi

écologique et énergétique puisqu'il a de multiples applications : production d'électricité verte, carburant à faible émission de carbone pour le transport...

D'où l'importance de pouvoir le stocker dans les meilleures conditions (notamment de sécurité). « Le compresseur électrochimique peut répondre à des besoins bien particuliers en la matière, en fonction de la pression nécessaire (bars). L'absence de vibrations du compresseur est un atout mais il y en a d'autres. Contrairement à un compresseur mécanique, il n'y a pas d'usure de pièces mécaniques liée au mouvement (mais dans un compresseur électrochimique, les matériaux sont néanmoins soumis à une dégradation dans le temps...), ce qui réduit l'exposition au risque de dysfonctionnement. Il ne nécessite pas

non plus d'entretiens réguliers forcément coûteux. Il s'avère d'ailleurs très concurrentiel en termes de coûts, à l'usage comme à l'achat », précise Giuseppe Sdanghi. Dans d'autres registres encore, le compresseur électrochimique ne fait pas de bruit et occupe beaucoup moins de place que son homologue mécanique.

Des spécificités qui intéressent des industriels. « Rien de concret encore mais une invitation à poursuivre les recherches », tempère Giuseppe Sdanghi qui est également enseignant-chercheur. L'hydrogène fait partie des grands enjeux soutenus par Unys. Le défi de la transition énergétique est très transversal et disciplinairement large. Rien qu'en Lorraine il rassemble plus de 300 chercheurs et enseignants-chercheurs.

HERAWS

Pour une gestion responsable des métaux

Porté par les membres d'Unys en partenariat avec d'autres universités européennes, le programme européen **HERawS** vise à développer des outils destinés à mieux gérer la consommation de métaux critiques, à l'heure des transitions écologique, énergétique et numérique. Un enjeu de... société.

Le projet **HERawS** (Highlights on Europe Raw Materials Sustainability) vise à développer des outils «éclairant» participant à l'amélioration des connaissances et de l'expertise dans le secteur critique des matières premières, à l'heure où la consommation en métaux explose avec les nouvelles technologies et le déploiement des énergies renouvelables. Soutenu par divers partenaires financiers (Europe, Lorraine Université d'Excellence...), HERawS rassemble des chercheurs de différentes disci-

plines (informatique, génie minier, mathématiques...) de plusieurs universités (de Lorraine, de Belgrade, de Luxembourg, de Ljubljana). «*Concrètement, nous concevons des outils de simulation et d'aides à la décision (algorithmes) qui prennent en considération de nombreux critères comme les impacts liés à l'extraction minière, par exemple. Nous élaborons des programmes de formation et organisons des conférences et des expositions itinérantes pour former et informer différents publics*», précise **Alexandre Nominé**, expert Unys et enseignant-chercheur à l'**Institut Jean Lamour** et **Mines Nancy** qui pilote ce projet.

HERawS s'adresse aux décideurs politiques, aux entreprises, aux chercheurs, aux étudiants mais aussi aux consommateurs afin que ces derniers puissent sélectionner les produits les plus durables en termes de sollicitation des ressources minérales, au moment d'investir dans des panneaux solaires ou une voiture électrique. Choisir à bon escient est de toute première importance. «*Les énergies renouvelables nous permettent de réduire notre consommation en énergies fossiles mais pour fonctionner, elles ont besoin d'importantes quantités de métaux. Nous passons d'une dépendance à une autre*», explique Alexandre Nominé.



« Les énergies renouvelables nous permettent de réduire notre consommation en énergies fossiles mais pour fonctionner, elles ont besoin d'importantes quantités de métaux. Nous passons d'une dépendance à une autre. »

Alexandre Nominé, expert Unys, enseignant-chercheur à l'Institut Jean Lamour (CNRS, Université de Lorraine)

Les métaux ne sont pas renouvelables

Or, l'extraction de ces métaux n'est pas sans impact sur l'environnement et les populations. Un exemple. «*Pour extraire un kilo de platine, ce sont 65 tonnes de CO₂ qui sont émises, soit l'équivalent 12 fois le tour du monde en avion*», précise l'expert. Comme le pétrole, les réserves de métaux sont aussi inégalement réparties dans le monde et elles attisent les tensions internationales. Enfin et surtout, « les métaux ne sont pas plus



« Pour extraire
un kilo de platine,
65 tonnes de CO₂
sont émises, soit
l'équivalent 12 fois
le tour du monde
en avion. »

Alexandre Nominé

renouvelables que les énergies fossiles», rappelle Alexandre Nominé. Dans quelques dizaines d'années à peine, les réserves (connues) seront insuffisantes pour répondre à la demande. D'où l'intérêt de prendre dès aujourd'hui les bonnes décisions.

Depuis de nombreuses années, les entités de recherche du site lorrain mettent en commun leurs expertises et rassemblent scientifiques, organisations publiques et privées ou grand public pour répondre aux grands enjeux du XXI^e siècle. Défis liés aux matériaux et à l'énergie de demain, au numé-

rique, à la santé et plus largement aux grandes mutations sociétales, ces entités de recherche anticipent les besoins et coconstruisent des réponses accessibles, fiables et efficaces avec un impact concret sur la société. Le site lorrain de recherche s'inscrit dans une dynamique de création de connaissances, de transfert des savoirs et d'innovations, participant au développement économique du territoire et à son rayonnement international.

MICRO- CAPSULES

Pour combattre les cancers

Soutenu par Lorraine Université d'Excellence (LUE) et l'institut Gustave Roussy, le projet **Médicaps** se consacre à la recherche en lien avec les microcapsules et leurs applications dans le domaine de la santé. Comme l'explique **Dr Stefan Mc Murtry**, expert **Unys** et ingénieur de recherche CNRS à l'**Institut Jean Lamour**, qui pilote Médicaps, elles pourraient révolutionner la façon dont sont soignés les cancers.

"Pour détruire des cellules cancéreuses, la chimiothérapie consiste à administrer des médicaments souvent par voie intraveineuse. Notre approche est totalement différente puisque l'idée est de déposer de très fortes doses de médicaments directement dans la tumeur en utilisant une microcapsule», explique le **Docteur Stefan**

Mc Murtry de l'**Institut Jean Lamour** qui pilote le programme **Médicaps** (medicaps.cnrs.fr) dédié à la recherche sur les microcapsules (autrement dit des enveloppes de taille microscopiques, 800 microns) et ses applications.

Des essais pré-cliniques très prometteurs

L'utilisation de microcapsules in situ a de multiples avantages. Elles permettent de transporter des médicaments purs (non dilués), donc des doses beaucoup plus importantes que celles administrées en intraveineuse. La maîtrise des perforations (et de l'épaisseur des parois) de la microcapsule assure une libération lente et continue des médicaments ce qui est fondamental en termes d'efficacité.

Le fait d'agir au cœur même de la tumeur a pour intérêt majeur de ne pas entraîner les multiples effets secondaires de la chimiothérapie traditionnelle, les organes périphériques n'étant pas abimés par la diffusion des médicaments. Dans un registre plus «pratique», les solutions d'encapsulation sont confectionnées à base de polymères biorésorbables (elles se détruisent toutes seules) et peuvent être injectées avec des aiguilles déjà utilisées par les hôpitaux. Il n'y a donc pas d'investissements matériels à engager et le coût des traitements est réduit par rapport à ce qui se pratique aujourd'hui. «*Nous avons effectué des essais pré-cliniques sur des souris avec des résultats très positifs. Le chemin est encore long avant d'engager des études cliniques mais ces recherches aboutiront car cela fonctionne. C'est juste une question de temps et d'argent. Nous*



« Nous ciblons tout particulièrement deux cancers particulièrement difficiles à soigner, si nous y parvenons, ce sera aussi le cas pour tous les autres cancers. »

Dr Stefan Mc Murtry, expert Unys, directeur du programme Médicaps et ingénieur de recherche CNRS à l'**Institut Jean Lamour** (CNRS, Université de Lorraine)



« Le chemin est encore long avant d'engager des études cliniques mais ces recherches aboutiront car cela fonctionne. C'est juste une question de temps et d'argent. »

Dr Stefan Mc Murtry

ciblons tout particulièrement deux cancers : celui du sein (triple négatif) et le glioblastome (tumeur du cerveau). Ce sont des cancers difficiles à soigner, si nous y parvenons, ce sera aussi le cas pour tous les autres cancers», souligne Stefan Mc Murtry qui, au sein de Médicaps, travaille en équipe avec le professeur Omar El Mazria et Halima Jabal, ingénieure, qui font également partie du laboratoire de recherche en sciences des matériaux IJL.

Trois autres projets de recherche

Outre ces travaux de recherche dans le domaine de l'oncologie, Médicaps est mobilisé dans trois autres projets en sachant que ces recherches s'inscrivent dans la continuité de travaux passés qui ont abouti au dépôt de différents brevets en lien avec les microcapsules. Le projet baptisé **Biopile** vise à développer des piles alimentées par des substances naturelles comme le glucose de l'organisme (sans aucun métaux lourds polluants donc totalement biodégradables) ce qui ouvre d'immenses perspectives en matière de santé comme dans de multiples secteurs d'activités industrielles.

Lab on a Chip est un projet qui s'intéresse aux capteurs sur puces pour optimiser le diagnostic clinique (via l'utilisation d'ondes acoustiques). Le dernier des projets en cours, développé en partenariat avec le **CHRU de Nancy**, centre hospi-

talier régional universitaire, relève de la gastro-entérologie et porte sur des techniques innovantes de libération de médicaments au niveau du colon.

De solides partenaires et collaborations

Pour mener à bien ces différents projets, Médicaps collabore avec de nombreux partenaires. Citons le catalyseur d'innovations **Sayens** qui a pour expertise de faire émerger des résultats scientifiques prometteurs pour les transformer en innovations. Des collaborations scientifiques sont également activées avec l'Université de Lorraine, le CNRS ou le CHRU de Nancy et d'autres encore via le projet Impact NanoMaterial for Sensors (N4S, Nanomatériaux pour les capteurs) initié par Lorraine Université d'Excellence (LUE) et qui vise la « maîtrise de l'ensemble de la chaîne des matériaux ».

« Il ne faut également pas oublier de citer l'**Institut Gustave Roussy**. C'est le premier centre de lutte contre le cancer en Europe, La référence en la matière », insiste Stefan Mc Murtry non sans souligner que ces différents projets de recherche progressent, aussi, grâce à l'implication de nombreux bénévoles – notamment des étudiants en thèse – et au soutien d'entreprises via des aides en matériels et matières premières.

TÉLOMÈRES

Dans le processus du vieillissement : un capital à préserver

Dans le cadre de **Geenage**, programme porté par les membres d'**Unys** et consacré au vieillissement et à la prévention des maladies associées, les deux experts Unys, **Athanase Bénéto**, professeur de gériatrie et de biologie du vieillissement au **CHRU de Nancy**, et **Simon Toupance**, enseignant-chercheur au laboratoire DCAC en biologie cellulaire et moléculaire à l'Université de Lorraine, ont mené des recherches sur les **télomères**. Avec des résultats très prometteurs.

"Les télomères, ce sont les extrémités de nos chromosomes. Comme les petits morceaux de plastiques qui recouvrent les extrémités des lacets, ils ont pour fonction de protéger les chromosomes et l'ADN qu'ils renferment des phénomènes de dégradation. Ils interviennent également lors de la division cellulaire pour éviter alors la perte d'information génétique. En effet, à chaque division cellulaire, lorsque la cellule duplique son ADN pour le transmettre à deux cellules filles, une petite partie n'est pas reproduite. Ce qui fait qu'à chaque division cellulaire, les télomères, qui

sont des séquences ne portant pas d'information génétique, s'usent et raccourcissent. Et quand ils deviennent trop courts, la cellule arrête de se diviser, elle devient alors sénescence. Cette cellule n'est alors pas éliminée du tissu mais change de comportement et participe alors potentiellement au développement de maladies, notamment du vieillissement», explique **Simon Toupance**, expert **Unys** et maître de conférences en biologie cellulaire et moléculaire à l'**Université de Lorraine**, au laboratoire **DCAC**.

La longueur des télomères a des conséquences

Autrement dit, la longueur des télomères joue un rôle essentiel dans les trajectoires du vieillissement. Les personnes qui possèdent des télomères très courts, liés à des mutations génétiques, sont exposées à des maladies rares (comme certaines progéras) qui entraînent un vieillissement accéléré. «En ce qui concerne le vieillissement usuel, qui concerne tout le monde, le fait d'avoir des télomères courts rend le fonctionnement cellulaire moins performant pour corriger les lésions ou produire des tissus de bonne qualité. En conséquence, les maladies liées au vieillissement, comme les maladies cardio-vasculaires par exemple, interviennent plus tôt dans la vie ou sont plus sévères», explique le professeur **Athanase Bénéto**. Des recherches menées sur des patients atteints du Covid-19 ont mis en lumière que plus les télomères sont courts, plus le système immunitaire a des difficultés à se défendre. «C'est l'une



« Les télomères ne sont donc pas des marqueurs des maladies mais des déterminants ou des facteurs de risques. »

Simon Toupance, expert Unys, maître de conférences en biologie cellulaire et moléculaire à l'Université de Lorraine et chercheur au laboratoire DCAC



des raisons pour lesquelles les personnes âgées étaient plus vulnérables et avec davantage de complications», précise le professeur Bénéto.

Il y a dix ans à peine, les chercheurs pensaient que les télomères courts étaient la conséquence de la maladie. Or les études longitudinales avec un suivi des patients dans la durée menées dans le cadre de **Geenage** par Simon Toupance et Athanase Bénéto, en collaboration avec de nombreux chercheurs de différentes disciplines, ont montré que les télomères courts étaient présents avant les maladies. Ces études ont aussi montré que les télomères, même s'ils raccourcissent avec l'âge ne subissent pas de grandes variations à l'âge adulte. «*Ils ne sont donc pas des marqueurs des maladies mais des déterminants ou des facteurs de risques*», résume Simon Toupance. Pour l'heure, il n'y a pas de possibilités efficaces et sans danger de modifier la longueur des télomères pour les rallonger lorsqu'ils sont courts. Avoir des télomères trop longs peut aussi être risqué car le bon fonctionnement de la machinerie cellulaire «profite» aussi aux cellules cancéreuses. Pour résumer, chacun dispose d'un capital initial (déterminé par la génétique à plus de 50%) qu'il n'est pas possible, pour l'instant, de modifier, du moins à l'âge adulte.

Un capital à préserver durant la petite enfance

En revanche, agir au cours des premières années de la vie sur les facteurs extérieurs pour réduire l'usure des télomères, est non seulement possible mais une priorité. «*Du point de vue quantitatif, les périodes durant lesquelles nous avons une usure très importante des télomères, c'est durant la vie intra-utérine et pendant les cinq à sept premières années de la vie car il est*

alors nécessaire d'augmenter considérablement notre volume de cellules. Pour réduire cette usure et préserver le capital télomérique (qui sera utile plus tard), il est possible d'agir en veillant à réduire l'exposition à des facteurs pouvant impacter le niveau d'usure comme l'obésité infantile, la pollution ou le tabagisme passif. Les parents peuvent agir. On a une responsabilité en la matière», précise Athanase Bénéto.

Pour une médecine personnalisée

Il y a aussi un intérêt à connaître à la longueur des télomères, chez les adultes. L'ambition alors n'est pas d'influer sur leur taille (ce que proposent certaines entreprises américaines peu scrupuleuses) mais de la prendre en considération avec les autres facteurs extérieurs de risques afin de mieux évaluer les risques de maladies chroniques de façon plus spécifique. Cela participe alors à nourrir une démarche de médecine personnalisée.

Simon Toupance et Athanase Bénéto mènent aussi différentes recherches en lien avec la mesure des télomères dans des registres bien particuliers. «*Connaître la longueur des télomères pourrait avoir des applications intéressantes dans des domaines comme la stérilité féminine, pour proposer précocement une préservation de fertilité à des patientes à télomères courts, ou la greffe de moelle osseuse, pour sélectionner des donneurs à télomères dont les cellules greffées pourraient mieux réagir*», confie Simon Toupance.

Si le programme Impact Geenage est aujourd'hui terminé, un autre programme plus ambitieux encore en matière de santé est déployé. Bien entendu, les télomères figurent au programme.

LE GRAS, c'est la vie !

Si l'excès de graisse est mauvais pour l'organisme, en manquer est également préjudiciable pour la santé. **David Moulin**, expert **Unys**, chargé de recherche **CNRS** au sein du laboratoire **IMoPA** (Ingénierie Moléculaire, Cellulaire et Physiopathologie), le met en lumière dans le cadre de travaux de recherches menées en collaboration avec l'**Institut Pasteur** de Paris et l'**Université de Lausanne**.

« **L**e gras, c'est la vie », s'amuse **David Moulin**, expert **Unys**, chargé de recherche **CNRS** dans le laboratoire **IMoPA** (Ingénierie moléculaire, cellulaire et physiopathologie). Il ne s'agit nullement d'encourager la malbouffe mais de souligner que si l'excès de sucre et de graisse est préjudiciable pour la santé, manquer de graisse l'est également. Pour résumer, il importe de trouver un « juste équilibre ». Dans le cadre de ses recherches, l'équipe a ainsi mis en évidence l'im-

pact que peut avoir l'absence de graisse sur les organes dont les os. « *Des recherches effectuées sur des souris « sans gras » ont montré que leurs os étaient poreux, troués comme du gruyère. Le tissu adipeux participant à produire les molécules qui régulent la bonne santé osseuse* », explique le chercheur de l'IMoPA.

Le gras pour résister aux « attaques »

Dans le cadre d'une collaboration entre IMoPA dirigée par le professeur **Bruno Charpentier**, l'**Université de Lausanne** (Faculté de biologie et de médecine) et l'équipe de **Gérard Eberl** à l'**Institut Pasteur de Paris**, l'équipe de chercheurs a également démontré que le PPARγ (Peroxisome Proliferator-activated Receptor gamma, une protéine indispensable à la fabrication du tissu adipeux) était essentielle à la prolifération des cellules lymphoïdes innées de type 2 (ILC2s). Explications : les ILC2s sont un sous type de cellules immunitaires (innées) qui interviennent pour défendre l'organisme en cas d'attaques de parasites intestinaux ou des voies respiratoires. « *Si vous inspirez un parasite ou un virus, par exemple, les ILC2s vont réagir rapidement pour répondre à une attaque des poumons et les défendre. Ces cellules ont notamment pour faculté d'être capables de se multiplier très rapidement si cela s'avère nécessaire* », explique David Moulin. Ces travaux de recherche



© DR

« Des recherches effectuées sur des souris "sans gras" ont montré que leurs os étaient poreux, troués comme du gruyère. Le tissu adipeux participant à produire les molécules qui régulent la bonne santé osseuse. »

David Moulin, expert Unys, chargé de recherche CNRS dans le laboratoire IMoPA (CNRS, Université de Lorraine)



ont donc mis en lumière que la stimulation des ILC2s induit un profond changement métabolique permettant l'assimilation de lipides, un préalable nécessaire à la prolifération et à la fonction de ces cellules immunitaires bénéfiques pour la défense de l'organisme. Pour le dire très simplement : au-delà d'être nécessaire à la bonne santé du système osseux, le « gras » participe aussi à renforcer le système immunitaire face aux attaques parasitaires.

Le bon équilibre

Mais il y a un bémol. Les ILC2s activés peuvent également provoquer de l'asthme. Étant donné la recrudescence de l'obésité observée dans nos sociétés occidentalisées, – compte tenu de nos régimes alimentaires riches en sucre et en graisse –, mais également de l'évolution

grandissante du nombre de personnes ayant de l'asthme, un lien entre l'hyperactivation métabolique et le risque accru de survenue d'asthme, peut être envisagé. *« Comme je le soulignais en préambule, le gras c'est la vie mais avec modération. Il importe de parvenir à trouver le bon équilibre, entre trop et pas assez »,* résume le chercheur d'IMoPA. Pour l'heure, ces travaux qui ont bénéficié du soutien de Lorraine Université d'Excellence (LUE), relèvent de la recherche fondamentale, l'ambition étant d'identifier des « mécanismes » et de mieux les comprendre. Mais bien entendu, ces recherches pourraient, dans un futur plus ou moins proche, favoriser le développement de traitements bénéfiques pour la santé humaine, dans le domaine de l'asthme, notamment.

CARE

Un hub d'excellence au service de la performance sportive

CARE Grand Est (Centre d'Accompagnement, de Recherche et d'Expertise) accompagne les athlètes et les entraîneurs dans leur quête de performance sportive via la recherche et l'innovation. Pour préparer les Jeux Olympiques et Paralympiques de Paris 2024, ce hub animé par une équipe de recherche pluridisciplinaire est montée encore en puissance avec le soutien de nombreux partenaires du territoire régional.



« Au-delà d'apporter des solutions au sport de haut-niveau, nous avons toujours pour priorité de rendre les innovations accessibles à l'ensemble des pratiquants ou au grand public. »

Jean-Philippe Jehl, expert Unys, professeur à l'Université de Lorraine à l'Institut Jean Lamour (CNRS, Université de Lorraine).



Le Centre d'Accompagnement, de Recherche et d'Expertise, **CARE Grand Est**, est un programme qui vise à accompagner les athlètes et les entraîneurs dans leur quête de performance et de prévention des risques de blessures via la recherche et l'innovation. « Et cela avec une méthodologie pluridisciplinaire qui fait appel à des expertises en lien avec les sciences du sport, du numérique et des matériaux », précisent ses pilotes à savoir **Gérome Gauchard**, expert Unys et vice-doyen de la **Faculté des Sciences du Sport de Nancy** et Professeur au laboratoire **DevAH** (Développement, Adaptation, Handicap), et **Jean-Philippe Jehl**, professeur à l'Université de Lorraine à l'Institut Jean Lamour.

CARE Grand Est, c'est un espace de 650m², installé à Nancy, où collaborent chercheurs, doctorants et stagiaires de niveau master et licence, ainsi que des athlètes et entraîneurs. Trois start-up nourrissent aussi l'écosystème. La première, **CareMoSim**, est une start-up de recherche et développement dans le domaine des matériels et matériaux en sport et santé. Elle est issue des travaux de recherche de l'**Université de Lorraine** et porte le projet « De l'individualisation de la pratique sportive au service de la performance et de la prévention des blessures ».

Les deux autres start-up, **Noviga** et **CyberNano**, sont également issues de travaux de recherche universitaire et mettent aussi leur ex-



« Avec CARE, nous sommes identifiés par les athlètes et les fédérations comme un acteur fiable et performant au service de l'excellence sportive. Il nous faut capitaliser sur l'héritage des Jeux 2024 et accélérer encore. »

Gérome Gauchard, expert Unys, vice-doyen de la Faculté des Sciences du Sport de Nancy et professeur au laboratoire DevAH (Université de Lorraine).

pées entre Care et CareMoSim : des poignées, un déflecteur et un adaptateur aviron», s'enthousiasme Gérome Gauchard. Avec pour objectif de répondre à des problématiques qui portent sur le matériel ou le geste sportif lui-même. «Au-delà d'apporter des solutions au sport de haut-niveau, nous avons toujours pour priorité de rendre les innovations accessibles à l'ensemble des pratiquants ou au grand public», précise Jean-Philippe Jehl. CareMoSim commercialise ainsi les poignées d'aviron évoquées supra qui ont fait l'objet de deux dépôts de brevets associés à deux licences d'exploitation exclusive conclues avec CareMoSim.

expertise au service de la performance sportive : **Noviga** spécialisée dans l'activité cardiaque et CyberNano experte en Intelligence Artificielle et big data.

Aviron, boxe, volley-ball, etc

CARE Grand Est s'investit dans de nombreux sports. Dans le cadre d'un partenariat de longue date avec la Fédération Française d'Aviron, l'équipe a développé des poignées ergonomiques pour les avirons, avec la collaboration du Pôle France Aviron de Nancy et de son responsable, **Sébastien Bel**. Ces innovations sont aujourd'hui utilisées en compétition et notamment lors des JOP de Paris 2024.

« Nous avons également travaillé au développement d'un logiciel de réalité virtuelle destiné à optimiser l'entraînement des boxeurs et sur des évolutions visant à améliorer les performances des athlètes pratiquant le rugby-fauteuil. Des contacts sont noués avec des équipes, des clubs ou des athlètes dans des sports comme le handball, le football et le volley-ball, le biathlon ou bien encore le cyclisme. Oliver Zeidler, champion du monde en skiif, vient d'obtenir son titre de champion olympique à Paris en utilisant les poignées développées à Nancy. Alors que Margot Boulet, médaillée de bronze aux Jeux Paralympiques à Paris a utilisé trois innovations dévelop-

Montée en puissance

Soutenu par LUE (Lorraine Université d'Excellence), en partenariat avec la Région Grand Est, le **Creps** (Centre de Ressources d'Expertise et de Performance Sportive) de Nancy et le **CDOS54** (Comité Départemental Olympique et Sportif de Meurthe-et-Moselle), le projet CARE Grand Est a bénéficié d'un soutien financier via des fonds européens (Feder Grand Est) sur la période 2019-2023. Au vu des résultats obtenus, le projet prend désormais une tout autre envergure avec l'activation des programmes **Dream** (Dispositif de REparation et d'Assistance Médicale) et **Croire** (CRéer et Optimiser la performance par l'Innovation, la Recherche et l'Entreprenariat) qui mobilisent davantage de partenaires et de moyens. « En lançant CARE en 2019, nous avons surfé sur l'organisation des JOP 2024 à Paris pour engager de nombreux projets avec différentes fédérations. Nous sommes identifiés par les athlètes (valides ou porteurs d'un handicap temporaire ou permanent) et par les fédérations comme un acteur fiable et performant au service de l'excellence sportive. Il nous faut capitaliser sur l'héritage des Jeux et accélérer encore », précise le duo qui enchaîne les rendez-vous et les signatures de contrats. Une nouvelle start-up nouvellement créée, **Simply Moov**, vient rejoindre cet écosystème. Son rôle est d'industrialiser des orthèses individualisées et évolutives, au regard des stratégies de prévention et de réathlétisation des sportifs.

BIOÉCONOMIE

L'économie de demain

Découvrir des biomolécules pour créer de nouveaux produits cosmétiques, pharmaceutiques et alimentaires, c'était l'objectif du projet **Impact Biomolécules** qui a fédéré entre 2017 et 2021 une trentaine de laboratoires de recherche et d'industriels. Porté par **Unys**, ce consortium prend aujourd'hui une nouvelle dimension avec la création de **The One Bioeconomy** qui vise à positionner le Grand Est comme un territoire d'excellence en matière de bioéconomie. Explications avec Stéphane Desobry, professeur à l'Université de Lorraine au **Libio**.

Initié par l'I-site Lorraine Université d'Excellence (**LUE**), le projet **Impact Biomolécules** a rassemblé 17 laboratoires de recherche autant d'entreprises et d'industriels. « *Ce consortium riche d'expertises complémentaires avait pour ambition d'identifier des biomolécules d'intérêt puis de piloter l'ensemble des étapes nécessaires pour les développer jusqu'à leur commercialisation* », explique **Stéphane Desobry**, expert Unys, professeur à l'Université de Lorraine au **Libio** (Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules). Les partenaires privés étant actifs sur des marchés comme les compléments alimentaires, les produits pharmaceutiques ou cosmétiques, c'est sur des biomolécules générant des bénéfices sur le

plan anti-inflammatoire ou antioxydant, que les recherches se sont focalisées. Focus également rendu nécessaire par la richesse du potentiel puisque les chercheurs estiment qu'il y a environ 1 milliard de molécules encore inconnues.

De nombreux bénéfices

Les biomolécules étant extraites d'organismes vivants, des études ont ainsi été menées sur la truffe (pour lutter contre les cancers), les algues, le chanvre ou bien encore le houblon, pour ne citer que quelques exemples. En sachant que la démarche vise à valoriser ce qui ne l'est pas (encore). Pour le houblon, par exemple, ce ne sont pas les cônes destinés à aromatiser la bière qui sont exploités mais les déchets agricoles. Avec quels résultats ? « *Impact Biomolécules est un projet qui s'est déroulé entre 2017 et 2021 ce qui est court au regard du processus qu'il faut respecter avant la mise sur le marché d'une nouvelle biomolécule. Néanmoins, il y a des résultats très prometteurs. Deux produits devraient être commercialisés prochainement et six brevets ont déjà été déposés. Les industriels sont au travail pour les exploiter* », confie le professeur. Les bénéfices ne sont pas que sanitaires. Impact Biomolécules a aussi conforté les collaborations internationales. Un partenariat a notamment été noué avec **Kuytech**, l'Institut de Technologies de Kyushu au Japon. Stéphane Desobry a présenté au Japon ses recherches dans le domaine de l'encapsulation de biomolécules puisqu'il importe de veiller aussi à ce que les biomolécules puissent circuler dans le corps et les organes pour arriver là où elles seront efficaces. Dans un registre plus économique, des start-ups ont également éclos et collaborent avec des industriels, dans le domaine des cosmétiques, par exemple.



« The One Bioeconomy, ce sont plus de 500 chercheurs du Grand Est qui collaborent en matière de bioéconomie »

Stéphane Desobry, expert Unys, professeur à l'Université de Lorraine au Libio.



La Fédération The One Bioeconomy
est lancée

« Impact Biomolécules, nous permet désormais d'embrayer sur un projet plus ambitieux encore avec la création de **The One Bioeconomy** », précise le chercheur du LiBio. Portée par Unys, cette « fédération » entend rassembler tous les acteurs publics et privés du territoire régional intervenant dans le domaine de la bioéconomie, pour initier des projets et des formations innovantes. Elle a pour objectif de participer au développement d'une économie plus vertueuse pour l'environnement, autrement dit d'accompagner le territoire régional dans les transitions environnementale, énergétique et sociétale en s'appuyant sur une transformation intelligente des ressources naturelles. « *La bioéconomie, c'est l'économie de demain* », résume Stéphane Desobry « *le Grand Est étant un territoire forestier et agricole de premier plan, l'un des axes de travail consiste à mieux valoriser les déchets générés, localement, par l'activité agricole ou sylvicole. Au-delà de favoriser l'émergence de nouvelles filières économiques qui s'accompagneront de créations d'emplois, cela va aussi permettre de diversifier les revenus des exploitants* ».

Un partenaire privilégié
en Europe

Dans la continuité du programme Impact Biomolécules, les connexions entre les laboratoires et les industriels sont multiples afin d'optimiser l'élaboration et la commercialisation de nouveaux produits. Depuis 2024, un programme interdisciplinaire (2024-34) a été lancé dans le cadre d'Unys sous le titre de « **Biomolecules for the Bioeconomy** » (B4B) qui étend le champ disciplinaire des recherches et l'ambition européenne du site lorrain. Ce sont ainsi 27 industriels et 25 laboratoires qui se sont associés pour répondre aux défis sociétaux de la bioéconomie à travers la recherche sur les biomolécules. Un premier projet européen interreg a été obtenu début 2025 pour la valorisation et l'encapsulation de biomolécules issues de microalgues. D'autres projets horizon et futurefoods sont en cours de montage. « *Les atouts sont réunis pour nous imposer comme le partenaire privilégié en Europe, sur cette thématique* », conclut Stéphane Desobry.

EXO-SQUELETTES

Ont-ils un intérêt pour les sapeurs-pompiers ?

Dans le cadre du projet **ANR EX-aequO**, lancé en janvier 2025 pour une durée de quatre ans, une équipe pluridisciplinaire de chercheurs explore le potentiel des exosquelettes pour accompagner les sapeurs-pompiers dans leurs interventions. Cette collaboration **100% Unys** rassemble des spécialistes issus des laboratoires lorrains **Perseus**, **DevAH** et **Loria**, en partenariat avec le Service départemental d'incendie et de secours (**SDIS**) de Meurthe-et-Moselle.

« Les exosquelettes sont déjà utilisés dans le milieu industriel ou médical, mais les nombreuses particularités des missions des sapeurs-pompiers nécessitent que cette solution soit étudiée spécifiquement »,



« Malgré l'entraînement rigoureux des pompiers, les ressources cognitives et physiques mobilisées lors des interventions peuvent conduire, sur le long terme, au développement de troubles musculosquelettiques. »

Sophie Lemonnier, experte Unys, enseignante-chercheuse en psychologie cognitive et en ergonomie, laboratoire Perseus de l'Université de Lorraine.

souligne **Sophie Lemonnier**, experte Unys, enseignante-chercheuse en psychologie cognitive et en ergonomie au sein du laboratoire **Perseus** (Psychologie Ergonomique et Sociale pour l'Expérience utilisateurs) de l'Université de Lorraine.

EX-aequO, c'est le nom du projet financé par l'Agence Nationale de la Recherche (**ANR**) qui a débuté en janvier 2025 pour une durée de quatre ans, afin d'étudier la possibilité d'équiper les sapeurs-pompiers d'un exosquelette dans diverses situations. Une équipe pluridisciplinaire, composée de Sophie Lemonnier, **Pauline Maurice**, chercheuse en robotique au **Loria** (CNRS, Université de Lorraine), et **Guillaume Mornieux**, professeur des Universités à **DevAH** à l'Université de Lorraine, va collaborer avec le **SDIS** (Service départemental d'incendie et de secours) de Meurthe-et-Moselle pour mener cette expérimentation.

Expérimentations et simulations

« Un premier projet, **Pompexo**, déjà mené avec le **SDIS54**, nous a permis d'engranger des données en lien avec l'apport d'un exosquelette lors d'une



« Les exosquelettes sont déjà utilisés dans le milieu industriel ou médical, mais les nombreuses particularités des missions des sapeurs-pompiers nécessitent que cette solution soit étudiée spécifiquement. »

Sophie Lemonnier

opération fictive de désincarcération. L'ambition est d'élargir les simulations pour explorer sa valeur ajoutée pour d'autres missions, sur un échantillon plus large», explique Sophie Lemonnier. Différents outils seront mobilisés afin de mesurer la charge générée sur le plan cognitif et physique, les deux étant le cas présent intimement liés : questionnaires, capteurs visant à mesurer la fréquence cardiaque (le stress) ou le mouvement des yeux et le diamètre pupillaire, tests de calcul mental lors des tests, simulations... Les données et mesures ainsi accumulées permettront de définir des cahiers des charges et de faire des préconisations. Il s'agit notamment

de préciser si, pour une mission donnée et dans des conditions définies, utiliser un exosquelette génère (ou non) des bénéfices pour le sapeur-pompier et, le cas échéant, quel type d'exosquelette s'avérerait le mieux approprié. « *Malgré l'entraînement rigoureux des pompiers, les ressources cognitives et physiques mobilisées lors des interventions peuvent conduire, sur le long terme, au développement de troubles musculosquelettiques (TMS)* », rappelle Sophie Lemonnier.

M-PHASIS

Un projet de recherche pour lutter contre les discours de haine sur internet

Dans le cadre du programme **Olki**, les chercheuses **Angeliki Monnier** et **Irina Illina**, expertes Unys, ont conjugué leurs disciplines, les sciences de l'information et de la communication et les sciences informatiques, pour mieux traquer les discours de haine sur les réseaux sociaux. Ce projet franco-allemand nommé **M-Phasis** a permis des avancées.

"Ce programme de recherche consacré aux discours de haine en ligne envers les migrants a fait l'objet de nombreuses publications et présentations dans des conférences d'envergure internationale. Trois thèses ont également été soutenues. La mise à disposition de toute la communauté de chercheurs qui travaillent sur ce sujet, d'un corpus et de logiciels open-access est également un grand motif de satisfaction», explique **Irina Illina**, experte Unys, maîtresse de conférences à l'Université de Lorraine au **Loria** (CNRS, Université de Lorraine) à propos du projet franco-allemand **M-Phasis**. Financé par l'Agence nationale de la recherche (ANR) et son homologue alle-

mand la Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), il s'est inscrit dans un programme plus ambitieux encore intitulé **Olki** (Open Language and Knowledge for citizens), porté par **Unys** et dédié à l'ingénierie des langues et des connaissances. L'originalité de M-Phasis (Migration and Patterns of Hate Speech in Social Media) est qu'il se nourrit à la fois de sciences de l'information et de la communication et de sciences informatiques, en France et en Allemagne réunissant **l'Université de Lorraine ainsi que l'Université de Mayence et celle de la Sarre**. Chercheuse en informatique, Irina Illina a notamment travaillé en étroite collaboration avec **Angeliki Monnier**, directrice du **Crem** (Centre de Recherche sur les Médiations) qui est professeure en sciences de l'information et de la communication à l'Université de Lorraine. Elle travaille entre autres, sur les appropriations et usages collectifs des médias et sur les environnements informationnels en ligne.



« Pour alimenter le programme M-Phasis, nous avons collecté plus de 10 000 messages de haine sur des médias sociaux et sur des sites de journaux. »

Irina Illina, experte Unys, maîtresse de conférences à l'Université de Lorraine au **Loria** (CNRS, Université de Lorraine).

Des milliers de commentaires qualifiés

Dans un premier temps, l'équipe a réfléchi à la manière de collecter les données. Un travail épistémologique a été mené afin de définir le discours de haine sur le plan sémantique ou lexical. « La priorité a ensuite consisté à collecter des données sur les réseaux, autrement dit à récolter des messages de haine en sachant que pour M-Phasis, nous nous sommes focalisés sur les messages écrits. Plus de 10 000 commentaires ont ainsi été recensés sur des médias sociaux comme Twitter et sur des sites de journaux. Et cela en France comme en Allemagne, avec une approche cross-culturelle, ce qui a d'ailleurs mis en



LA HAINE EN CHIFFRES

Les discours de haine se propagent

Selon un rapport de l'Unesco, 80 % des personnes ont été confrontées à des discours haineux (DH) en ligne et 40 % se sont senties attaquées ou menacées via des sites de réseaux sociaux dans l'Union Européenne. Les Nations Unies définissent le DH comme « tout type de communication par la parole, l'écriture ou le comportement, qui dénigre une personne ou un groupe en fonction de ce qu'il est, c'est-à-dire en fonction de sa religion, de son ethnie, de sa nationalité, ou d'un autre facteur d'identité ».

lumière des différences entre les deux pays. Les Français sont, par exemple, beaucoup plus friands de Twitter que les Allemands, ce qui fait qu'en Allemagne ce réseau social colporte bien moins de messages de haine», explique Irina Illina. Cet exercice de collecte est déjà une gageure en soi. D'une part, car il importe de prendre en considération la réglementation sur le respect de la vie privée. D'autre part, car en Europe, les plates-formes ont l'obligation légale de supprimer de tels messages dans les 24 heures qui suivent leur mise en ligne. Il a fallu ensuite annoter ce corpus. « Nous avons défini un protocole d'annotation comprenant une centaine de questions. C'est ce qui nous a permis d'obtenir des résultats intéressants, un modèle plus performant capable de mieux cerner les discours de haine implicites, par définition plus difficiles à saisir que ceux qui sont explicites et identifiables avec des mots-clés, notamment », résume la chercheuse. Ce sont ce corpus et l'outil informatique développé, appelé **Human** (Hierarchical Universal Modular Annotator), qui sont désormais partagés avec la communauté scientifique et participant, à ce titre, à

faire avancer la lutte contre les discours de haine sur internet, au bénéfice de toute la société. Bien entendu, les **Gafam** (Google, Apple, Facebook, Amazon et Microsoft) qui mènent aussi des recherches en la matière, ont accès à ces travaux.

Vers de nouvelles recherches

Après quatre ans de recherche, le programme M-Phasis s'est terminé en août 2022. La fructueuse collaboration entre Irina Illina et Angeliki Monnier, ainsi qu'entre leurs équipes respectives, se poursuit néanmoins. Car les résultats sont probants et le rapprochement des disciplines a été une réelle source d'enrichissement, du point de vue scientifique comme humain même s'il a fallu composer avec la crise sanitaire. Mais aussi parce que la haine ne manque pas de créativité pour diffuser ses messages. « Nous aimerions à présent élargir nos recherches, via une approche multimodale alliant texte et signal audio (par exemple, sur YouTube utiliser la bande son d'une vidéo et le texte de commentaires) », confie Irina Illina.

TELEMOVTOP

Un robot au service de la santé au travail

De la robotique pour le désamiantage aux exosquelettes pour aider les soignants, **Serena Ivaldi**, experte **Unys** et chercheuse **Inria** en robotique au **Loria** (CNRS, Université de Lorraine) et au **Centre Inria** de l'Université de Lorraine nous en dit plus sur les collaborations avec **Iso Top**, une PME du Grand Est, et le **CHRU de Nancy**.

"Le projet **Telemovtop** est intéressant car il nous a obligés à nous confronter à des problèmes complexes pour développer une solution innovante qui génère des bénéfices pour la santé et la sécurité des Hommes, pour l'environnement et pour l'entreprise sur le plan économique», explique **Serena Ivaldi**, experte Unys et chercheuse en robotique au Loria (CNRS, Université de Lorraine) et au Centre Inria de l'Université de Lorraine.

Telemovtop est un projet qui a visé à développer un robot intelligent destiné à effectuer le désamiantage des toitures de bâtiments industriels, à la demande de **Iso Top Etanchéité**, une PME du Grand Est spécialiste de l'enveloppe du bâtiment (désamiantage, végétalisation, étanchéité, photovoltaïque...).

Un jumeau numérique

Un premier robot avait été conçu, avec succès, dans le cadre d'une collaboration que l'entreprise avait nouée avec les Arts et Métiers (**Ensam Metz**). Il était capable d'effectuer toute une série d'opérations : évoluer sur une toiture (y compris pentue ou glissante), saisir une (lourde) plaque d'amiante, la déplacer en toute sécurité pour la déposer au bon endroit... « Nous sommes intervenus dans un second temps avec pour mission de perfectionner le système de pilotage, de manière à ce qu'il soit possible de contrôler et de manipuler le robot à distance et de réduire encore les risques pour les professionnels », explique Serena Ivaldi.

Un « jumeau numérique » du robot a notamment été développé par la chercheuse et son équipe afin que l'opérateur dispose d'une vision plus complète que celle transmise par les caméras embarquées et puisse ainsi mieux maîtriser les évolutions du robot en les adaptant à son environnement.



© Dr

« Le projet Telemovtop est intéressant car il nous a obligés à nous confronter à des problèmes complexes pour développer une solution

innovante qui génère des bénéfices pour la santé et la sécurité des Hommes, pour l'environnement et pour l'entreprise. »

Serena Ivaldi, experte Unys
chercheuse Inria en robotique au Loria (CNRS, Université de Lorraine)
et au Centre Inria de l'Université de Lorraine.

« Je suis très
attachée à faire
sortir les robots
du laboratoire. »

Serena Ivaldi



Des exosquelettes à l'hôpital

Le projet Telemovtop mené à bien, Serena Ivaldi travaille sur d'autres projets portant sur des collaborations « robots-humains » à valeur ajoutée. Dans le domaine de la santé, un partenariat a été noué avec le [CHRU de Nancy](#) pour développer des exosquelettes. « De premiers tests, menés dans le domaine de la manipulation des patients, ont donné de bons résultats et nous

identifions actuellement d'autres cas d'usage potentiels », confirme la chercheuse.

Très attachée « à faire sortir les robots du laboratoire », Serena Ivaldi est également désireuse de les faire mieux connaître du grand public comme l'a illustré son implication dans l'événement [La semaine de la robotique](#) qui s'est tenu à Nancy, du 22 au 28 novembre 2024.

PCBEND

Des circuits imprimés pliables pour créer de nouveaux objets

PCBend permet de créer des circuits imprimés pliables ouvrant ainsi de nouvelles perspectives dans la conception d'objets innovants. Plus de précisions avec **Marco Freire**, expert **Unys** et ATER au sein du **Loria** (CNRS, Université de Lorraine) et du **Centre Inria** de l'Université de Lorraine.

"Le projet **PCBend** vise à développer une méthodologie numérique et computationnelle qui permet de concevoir des circuits électroniques importables sur des surfaces pouvant être pliées, afin d'obtenir un volume. Le circuit est alors opérationnel sous une forme tridimensionnelle qui peut être plus ou moins complexe», résume **Marco Freire**, expert **Unys** et ATER⁺ **Loria** (CNRS, Université de Lorraine) et au **Centre Inria** de l'Université de Lorraine. Sur ce projet, Marco Freire collabore avec **Manas Bhargava**, doctorant à l'Institut autrichien des sciences et technologies (**Ista**), dans le groupe de recherche **Computer Graphics and Digital Fabrication**, dirigé par **Bernd Bickel**.

Comme un origami

Pour bien appréhender **PCBend**, il faut savoir que les circuits électroniques sont imprimés sur des plaques rigides et cassantes. Pour leur faire adopter des formes diverses, en trois dimensions, une des solutions consiste à réaliser des coupes sur les cartes de circuit imprimé ou panneaux PCB (Printed Circuit Board) qui reçoivent les composants électroniques. «*Nous avons conçu un logiciel qui permet d'élaborer les plans des circuits imprimés de manière automatisée. Il intègre toutes les étapes d'optimisation de la géométrie des panneaux PCB en vue de leur pliage, puis optimise aussi le circuit et le câblage sur la surface*», explique Marco Freire. Il «suffit» ensuite de plier et coller l'assemblage de panneaux PCB ainsi obtenu sur un support imprimé en 3D, pour obtenir un objet (ou une forme) capable de produire des effets lumineux riches en couleurs grâce aux LED programmables parsemées sur le circuit.

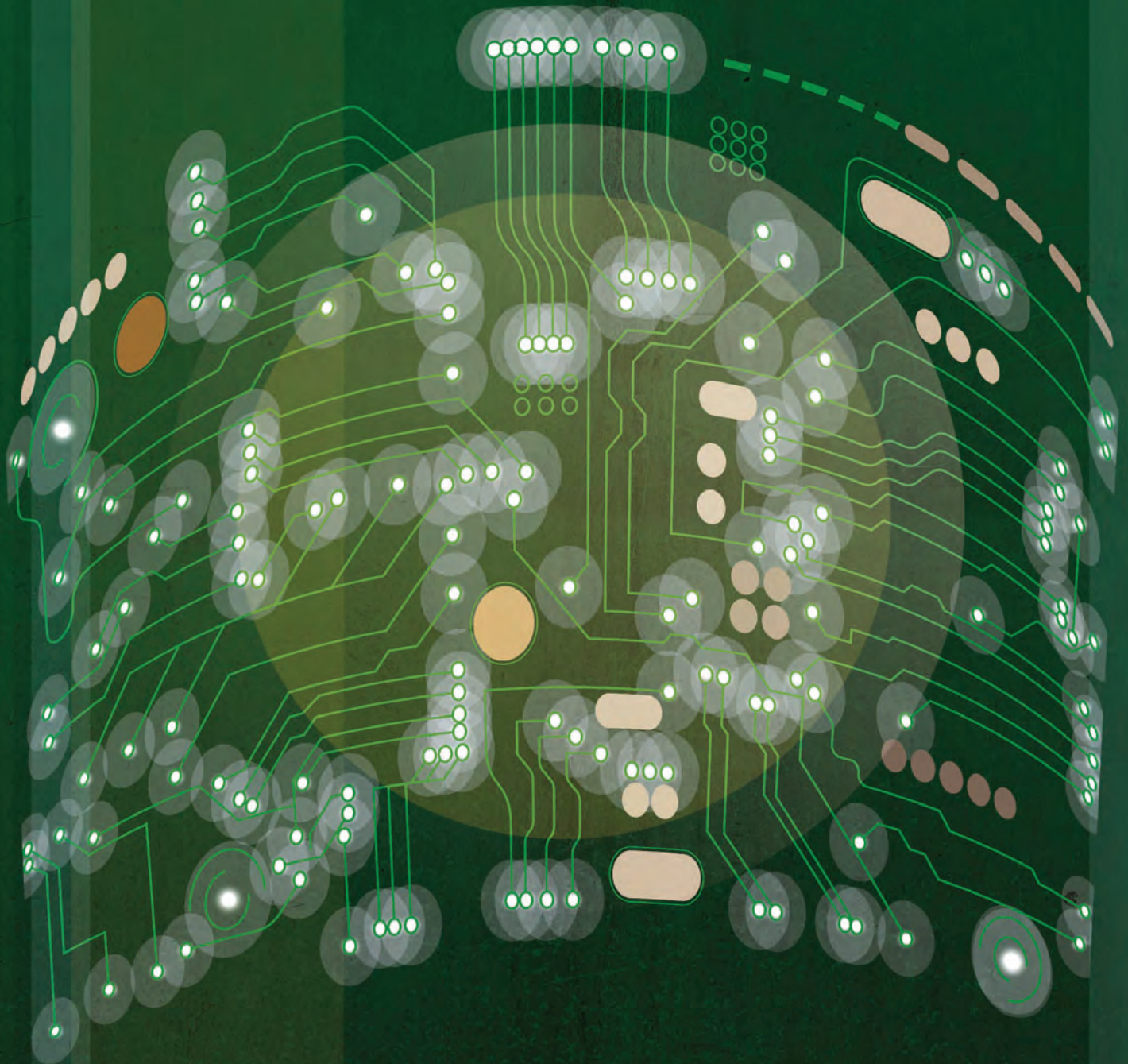
Open source

Cet algorithme qui a nécessité des recherches tant en matière d'informatique que de mathématiques et d'infographie, les deux chercheurs ont fait le choix de le développer dans un environnement open source², autrement dit le code source est partagé librement. «*Cela permet à la communauté scientifique comme à*



«Nous avons conçu un logiciel qui permet d'élaborer les plans des circuits imprimés de manière automatisée.»

Marco Freire, expert Unys,
ATER au Loria (CNRS, Université de Lorraine).



toutes les personnes intéressées de s'en saisir et de l'enrichir. Je pense notamment à tous les passionnés et électroniciens amateurs. L'idée même de ce projet puise ses racines dans cette communauté», précise Marco Freire. La démarche est d'autant plus pertinente que PCBend mobilise des matériels standards et les procédés ne requièrent pas de compétences techniques et scientifiques spécialisées. «La valeur ajoutée du procédé réside aussi dans le fait que sa mise en œuvre est à la fois plus rapide, moins contraignante et moins coûteuse que d'autres techniques actuellement utilisées comme celles qui visent, par exemple, à loger dans un smartphone tous les composants électroniques nécessaires à son fonctionnement», précise Marco Freire qui, toujours en collaboration avec Manas Bhargava, poursuit ses travaux de recherche afin d'y apporter des améliorations techniques

qui vont permettre de concevoir des formes toujours plus complexes.

Déco, automobile, cinéma...

L'avenir, à plus long terme, c'est aussi d'engager des collaborations avec des industriels. Ces circuits imprimés pliables offrent en effet d'innombrables perspectives dans la conception de nouveaux objets, dans de nombreux domaines : décoration, art, luminaire, mobilier, automobile, événementiel, design urbain, architecture, électronique grand public... «Le procédé pourrait aussi avoir un intérêt pour l'industrie cinématographique pour la réalisation d'effets spéciaux, par exemple», précise Marco Freire comme pour mieux souligner que les seules limites aux usages de PCBend sont celles de la créativité.

(1) ATER :
attaché temporaire
d'enseignement
et de recherche

(2) Lien open source :
[github.com/mfremer/
pcbend](https://github.com/mfremer/pcbend)

CYBER-SÉCURITÉ

Comprendre l'écosystème des cybercriminels pour mieux les combattre

Les organisations des cybercriminels se professionnalisent, parfois avec des liens avec les états. Les modes opératoires évoluent avec les demandes de rançon mais aussi les vols de données. Dans le cadre du projet **DefMal** (Défense contre les programmes malveillants) du **PEPR** cybersécurité, des recherches sont menées en matière de cybersécurité. Les explications de **Jean-Yves Marion**, expert **Unys** et professeur à l'**Université de Lorraine**, chercheur au **Loria** (Laboratoire Lorrain de Recherche en Informatique et ses Applications).

Nul n'est à l'abri. La cybercriminalité concerne les particuliers comme les organisations, les entreprises comme les états. Comprendre que la cybersécurité est un enjeu majeur. Différents membres d'**Unys** mènent des travaux de recherche en matière de cybersécurité. Ils portent sur la cryptographie, la vérification des protocoles (communication entre deux ordinateurs) no-

tamment en lien avec le vote électronique, ou bien encore sur les programmes malveillants. Un premier projet appelé **Impact DigiTrust**, destiné à redonner « confiance dans le numérique », a permis dans la continuité de lancer **DefMal** (Défense contre les programmes malveillants) qui est un projet du programme France 2030.

Des groupes organisés comme des entreprises

Les recherches se concentrent sur la compréhension des écosystèmes cybercriminels pour être en mesure de détecter les signaux faibles et d'anticiper les attaques. « Certains de ces groupes sont organisés comme de véritables petites entreprises avec un service en charge de développer des logiciels d'attaque, des services de négociation, d'aide aux victimes pour qu'ils puissent payer en bitcoin, d'exfiltration des données, de blanchiment de l'argent... Et au bas de l'échelle, il y a



« On observe une sorte d'ubérisation de la cybercriminalité, ce qui fait que l'arrestation de l'ensemble d'un groupe de cybercriminels est très compliquée. »

Jean-Yves Marion, expert Unys, professeur à l'Université de Lorraine et chercheur au Loria (CNRS-Université de Lorraine).



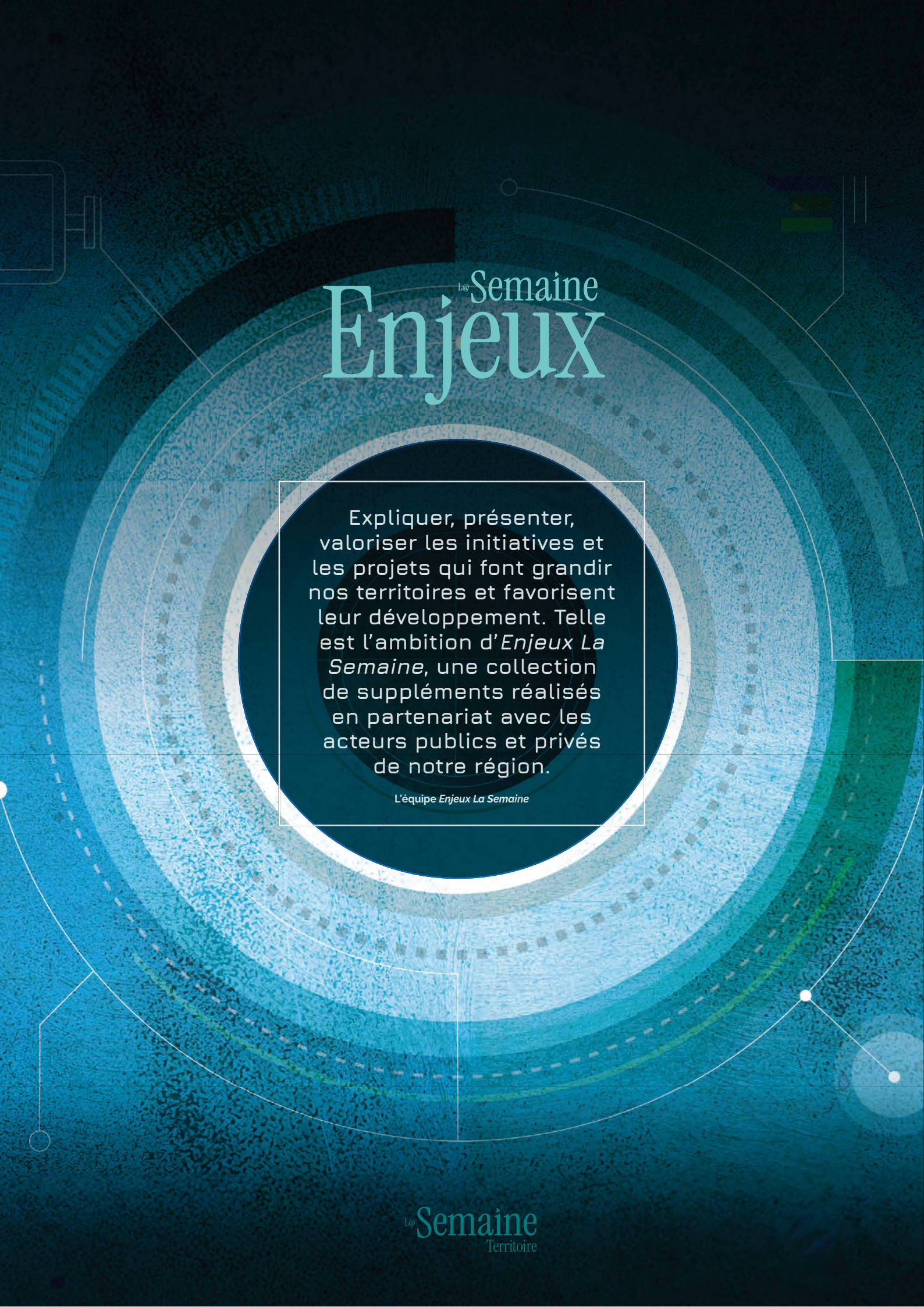
les affiliés qui vont perpétrer l'attaque. C'est une sorte d'ubérisation de la cybercriminalité, ce qui fait que l'arrestation de l'ensemble d'un groupe de cybercriminels est très compliquée», explique **Jean-Yves Marion**, expert Unys, professeur à l'Université de Lorraine, chercheur au **Loria**, aux côtés de **Bertrand Pailhes**, directeur des technologies et de l'innovation à la **Cnil** qui est revenu sur les missions et priorités de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés. La cybercriminalité est portée par une organisation spécifique. «Et la concurrence entre les groupes est vive car il est important de séduire et de fidéliser les affiliés car ce sont eux qui sont à la manœuvre, en sachant que l'on n'est pas chez les bisounours», précise l'expert qui a dirigé le **Loria** durant dix ans.

Programmes malveillants : détecter et anticiper

Mieux comprendre ces écosystèmes cybercriminels dans leurs multiples dimensions (organisationnelle, technologique, juridique...), c'est le premier volet de DefMal qui mobilise des experts en informatique ainsi que des économistes ou des juristes. Et demain, peut-être, des sociologues, des

psychologues ou des anthropologues. Jean-Yves Marion plaide en tout cas pour qu'il en soit ainsi. À ce volet s'en ajoute un second qui porte plus spécifiquement sur la détection et l'analyse des programmes malveillants à l'heure de l'Intelligence Artificielle qui «industrialise le phishing et le hacking humain». Là encore, l'ambition est d'anticiper les menaces et les nouveaux modes opératoires, alors que la multiplication des objets connectés s'accompagne de nouvelles vulnérabilités. «La surface d'attaque ne fait qu'augmenter : caméras, capteurs, voitures, avions, drones... L'informatique est partout», souligne le chercheur non sans évoquer toute l'importance de ce que l'on appelle la «Security by design», autrement dit la nécessité d'intégrer la sécurité dans le développement même des objets (connectés) avec pour priorité de réduire leur vulnérabilité.

À noter que ces travaux qui relèvent de la recherche fondamentale ont déjà des applications très concrètes comme le confirme, par exemple, la création de la start-up **Cyber-Detect** qui commercialise une solution innovante d'analyse de logiciels malveillants et de la start-up **Cyber4Care** qui vise à anticiper les incidents de cybersécurité.



L@Semaine Enjeux

Expliquer, présenter,
valoriser les initiatives et
les projets qui font grandir
nos territoires et favorisent
leur développement. Telle
est l'ambition d'*Enjeux La
Semaine*, une collection
de suppléments réalisés
en partenariat avec les
acteurs publics et privés
de notre région.

L'équipe *Enjeux La Semaine*