

en DIRECT

LE JOURNAL DE LA RECHERCHE ET DU TRANSFERT DE L'ARC JURASSIEN - NUMÉRO 320 - SEPTEMBRE - OCTOBRE 2025

GRAND FORMAT [MÉDECINE DU FUTUR]

Des passerelles entre recherche et industrie

USINAGE

Vers des lubrifiants
à base d'eau pour
les outils de coupe

L'AIR DE RIEN

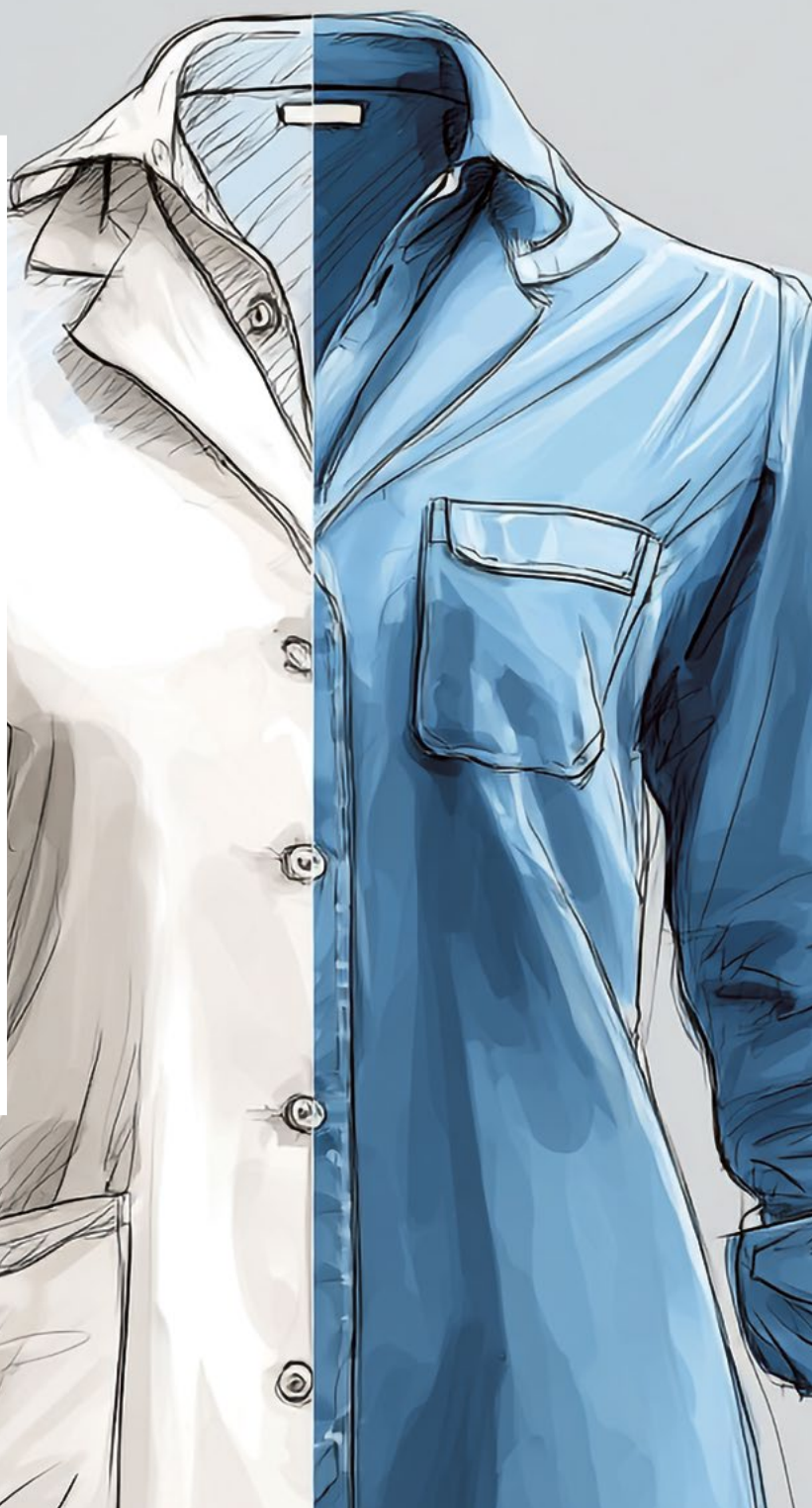
Politique mise en musique

CARNET DE BORD

Plongée archéologique
en Alaska

FAIT [DE SOCIÉTÉ]

Des classes moyennes
en péril ?





EN DIRECT

NUMÉRO 320 - SEPTEMBRE - OCTOBRE 2025

3 | ACTUALITÉS

- Vers des lubrifiants à base d'eau pour les outils de coupe
- Dépassionner le débat sur l'accueil des migrants en Europe
- Politique mise en musique
- Qui se soucie de la grenouille de Darwin ?
- La science sur le devant de la scène
- Un dictionnaire transfrontalier à cheval sur les notions de droit
- Les liaisons secrètes et infinies du monde vivant
- Plongée archéologique en Alaska

12 | FAIT [DE SOCIÉTÉ]

Des classes moyennes en péril ?

14 | PLANS [D'AVENIR]

Le renouveau du Jardin botanique de Besançon

16 | GRAND FORMAT [LAB AND CO]

Des passerelles entre recherche et industrie

USINAGE

VERS DES LUBRIFIANTS À BASE D'EAU POUR LES OUTILS DE COUPE

Le monde de la mécanique ne saurait se passer de lubrifiants. Tournage, fraisage, taraudage et autres opérations d'usinage nécessitent de recourir à ces fluides, qui ont pour vocation de refroidir pièces et outils pendant la coupe, et de limiter le frottement entre outil et matériau usiné. Cela permet de garantir la qualité des pièces produites et de réduire l'usure des outils coupants. Le marché des lubrifiants, traditionnellement dérivés du pétrole, demande aujourd'hui à être positionné sur des produits moins délétères pour l'environnement et pour la santé des opérateurs qui les manipulent. Les procédés de fabrication de pointe appellent aussi à des évolutions, comme le micro-usinage qui s'accommode mal des huiles qui se collent aux minuscules résidus de production, ou la fabrication hybride qui, en combinant enlèvement et ajout de matière, crée des besoins inédits. Mettre au point de nouveaux fluides de coupe, c'est donc répondre à différentes attentes, tout en se heurtant à des contraintes particulières pour trouver les bons constituants. Dans le projet ECOLUB, les chercheurs expliquent qu'ils « s'appuient sur une expérience préalable de développement de lubrifiants contenant des molécules à longue chaîne carbonée, destinées à se déposer sur la surface à lubrifier et ainsi servir de troisième corps lubrifiant sans présence de corps gras ». L'alcool est généralement utilisé dans ces fluides particuliers afin de solubiliser les molécules puis de les déposer sur des métaux. « Mais c'est ici un produit à écarter, car il n'est pas question d'utiliser d'alcool dans des machines-outils en raison des risques d'incendie ».

L'eau est alors l'élément préconisé pour la solution de base. Ressource disponible et recyclable, excellent refroidisseur, elle n'a cependant que de faibles propriétés lubrifiantes. De plus, elle favorise la corrosion des métaux et est susceptible de favoriser le développement de bactéries, il faut donc lui ajouter des biocides et des agents anticorrosion. L'objectif des chercheurs revient en définitive à élaborer des molécules dotées de propriétés lubrifiantes, capables de se greffer sur du métal, et de les rendre solubles dans l'eau. Tel est le triple défi du projet ECOLUB, qui réunit des chercheurs de l'Institut UTINAM et de l'Institut FEMTO-ST autour d'un casse-tête qui tient autant de la chimie que de la mécanique. Le projet est piloté par les chimistes Jérôme Husson et Fabrice Lallemand, et par les mécaniciens Michaël Fontaine et Xavier Roizard. Le projet, soutenu par le Fonds régional d'aide à l'innovation (FRI), financé par la BPI, bénéficie des travaux de recherche de plusieurs doctorants.

MOLECULES À L'ESSAI

La première étape consiste à mettre au point de nouvelles molécules qui puissent répondre aux exigences du cahier des charges. Élaborées sur les paillasse de l'Institut UTINAM, plusieurs molécules, développant des modes d'action différents, ont été choisies pour les propriétés de solu-



bilité dont elles font notamment preuve. La formulation permet ensuite de doser le plus finement possible l'ajout de biocides, indispensables pour contrer tout risque bactérien, et d'agents anticorrosion. « Les fluides de coupe sont des produits utilisés en grande quantité dans l'industrie, leur prix de revient est un paramètre important. Or plus une molécule est complexe, plus elle coûte cher. Il nous faut trouver le bon compromis entre coût et efficacité », explique Jérôme Husson. Les synthèses chimiques pour l'industrie sont traditionnellement effectuées dans des réacteurs de gros volume. Les chercheurs proposent ici de recourir à la chimie de flux, pour laquelle les réacteurs sont plus petits, mais sont plusieurs à travailler en parallèle. Cette technologie assure une meilleure qualité à la réaction chimique, en même temps que des gains d'énergie et de produits chimiques, et d'avantage de sécurité. Les molécules sont aujourd'hui soumises à des tests à l'Institut FEMTO-ST, pour caractériser leurs interactions avec les pièces mécaniques lors d'un processus

de fabrication et pour vérifier leur capacité à protéger les outils de coupe de l'usure. Le taraudage, qui consiste à créer un filetage dans une pièce pour y insérer une vis, fait l'objet des premiers essais comparatifs entre les huiles traditionnelles et les nouvelles formulations proposées par le consortium ECOLUB.

« Les études tribologiques préliminaires montrent que les solutions aqueuses testées absorbent la chaleur aussi bien que l'huile soluble et qu'elles limitent de la même manière l'usure des outils

de taraudage. Si elles sont sur ce point un peu moins performantes que les huiles entières, elles ont beaucoup moins d'impact sur l'environnement et la santé des opérateurs », précise Michaël Fontaine.

Les tests mécaniques pour d'autres procédés tels que le tournage, le fraisage ou encore le micro-usinage et la fabrication hybride ne font que commencer, et pourront donner lieu à des ajustements dans les formulations chimiques : rendez-vous en fin d'année 2026 pour les résultats !

Contacts :

Institut UTINAM
UMLP / CNRS
Jérôme Husson
Tél. +33 (0)3 81 66 62 91
jerome.husson@univ-fcomte.fr

Institut FEMTO-ST
Département Mécanique appliquée
UMLP / SUPMICROTECH / UTBM / CNRS
Michaël Fontaine
Fabrice Lallemant
Xavier Roizard
Tél. +33 (0)3 81 66 60 57
michael.fontaine@femto-st.fr
fabrice.lallemant@femto-st.fr
xavier.roizard@femto-st.fr

SOLUTIONS INFORMATIQUES

DÉPASSIONNER LE DÉBAT SUR L'ACCUEIL DES MIGRANTS EN EUROPE

Question des plus sensibles, la migration d'asile a récemment fait l'objet d'un nouveau Pacte à l'échelle de l'Union européenne. Cette réforme, dont la Suisse est partie prenante, vise à augmenter l'efficacité du système existant et à favoriser la solidarité entre les États. C'est dans ce contexte que des chercheurs suisses engagés dans le pôle de recherche national « nccr – on the move », consacré à la migration et à la mobilité, proposent un logiciel traitant les données de la migration de manière factuelle et complète, pour servir de base à la discussion politique. La solution informatique Fair Share agrège ainsi les informations sur les demandes et les octrois de protection temporaire recensés par l'office de statistique Eurostat, et intègre des renseignements d'usage sur les pays d'accueil : taille, niveau de PIB, structure de la population, taux de chômage... L'utilisation combinée de ces critères objectifs permet de visualiser la réalité du terrain et de déterminer les capacités



d'accueil de chaque pays. Grâce aux informations inédites qu'il porte à la connaissance des décideurs, Fair Share est un outil au service de la discussion et de la négociation. « L'application fournit les bases d'un débat dépassionné pour favoriser le partage des responsabilités et mettre en œuvre les mécanismes de solidarité entre les États membres de l'Union », explique

Étienne Piguet, géographe spécialiste des questions de mobilité à l'UniNE, et largement impliqué dans le nccr – on the move¹.

Après dix ans de développement sous la houlette d'Étienne Piguet et d'Andreas Perret, le spécialiste de la gestion des données et des visualisations du nccr – on the move, le logiciel est aujourd'hui fonctionnel et prend compte

en permanence des nouvelles données sur la problématique qui lui est confiée.

Fair Share pointe les déséquilibres entre les pays d'accueil, et montre que si une plus grande solidarité entre eux apparaît nécessaire, elle est également possible.

« Nous arrivons à un moment charnière sur la question de la migration forcée. C'est vrai à la fois pour la politique et pour la recherche, entre lesquelles il n'y a que peu d'échanges. Les gouvernements ont des approches plutôt technocratiques ; la recherche met ses résultats à leur disposition pour faciliter le dialogue et rendre les discussions plus pragmatiques », souligne le géographe.

Fair Share apparaît être un instrument capable d'apporter une pierre d'angle à cet édifice, dont la construction est d'un côté voulue par nombre de politiques, de l'autre rendue fragile par la tendance au repli nationaliste de certains États.

¹ Étienne Piguet a participé au nccr – on the move lors des deux premières phases de ce projet piloté par l'université de Neuchâtel (2014-2022). Le pôle de recherche national a pour objectif d'analyser et de mieux comprendre les phénomènes de migration et de mobilité, en Suisse et à l'échelle internationale. Actuellement dans sa troisième phase (2022-2026), le nccr – on the move réunit des spécialistes en sciences sociales, économie et droit autour de onze projets de recherche conduits dans les universités de Bâle, Genève, Lausanne, Neuchâtel, ainsi qu'à l'EPF de Zurich, le Graduate Institute de Genève, la Haute école spécialisée de Suisse occidentale et la Haute école zurichoise de sciences appliquées.

Contact :
Institut de géographie
Université de Neuchâtel
Étienne Piguet
Tél. +41 (0)32 718 19 19
etienne.piguet@unine.ch
<https://nccr-onthemove.ch>

L'AIR DE RIEN

POLITIQUE MISE EN MUSIQUE



Si la musique est censée adoucir les mœurs, elle entraîne aussi l'adhésion, et pas toujours de manière délicate. Bien choisir sa musique pour réussir à convaincre, l'idée est connue des spécialistes en communication, quel que soit le message qu'ils ont à délivrer. La façon dont cette vérité marketing se décline pour mettre en avant les discours politiques sur les réseaux sociaux est au cœur des recherches que mène Justine Simon au laboratoire ELLIADD / UMLP, en sciences de l'information et de la communication.

MARKETING POLITIQUE

La chercheuse a notamment étudié la montée en puissance de la popularité de Jordan Bardella sur les réseaux lors des élections européennes et législatives de 2024, et comment sa candidature a été servie par la musique. Son étude a en particulier concerné TikTok. « On n'a plus seulement affaire à un homme politique qui

distille ses idées, mais à une personnalité vue comme une star, qui danse en public, se montre beau et sexy et fait l'objet de *fancams*, ces vidéos de célébrités prises par des fans », rapporte la chercheuse.

Pour l'accompagnement musical, on pioche dans le registre populaire avec des parodies de génériques de dessins animés tels que le *Capitaine Flam* des années 1980 où Bardella apparaît en héros, ou de chansons plus récentes, comme *Formidable* de Stromae, dont les paroles revisitées selon l'idéologie du Rassemblement national ont donné lieu à des plaintes contre X de la part d'associations antiracistes. « Certaines musiques sont spécifiquement composées pour mettre en valeur le candidat. Elles deviennent des *mèmes*, des petites séquences musicales que les communautés de fans déclinent en leur associant différentes images, et qui deviennent virales sur internet », ajoute Justine Simon. Selon la chercheuse, « les gens s'approprient ces mêmes musi-

caux, puis se mettent en avant grâce à eux : ils n'avancent plus masqués et affichent un discours décomplexé ».

Au-delà du phénomène Bardella, certaines musiques sur TikTok servent la propagande de l'extrême-droite de manière plus déguisée, pour éviter la censure. *Erika*, une chanson composée sous le régime nazi pour accompagner les marches militaires et les rencontres entre dignitaires du parti, est reprise de façon virale ces dernières années sur les réseaux. Les saluts nazis et les croix gammées se devinent dans des images subtilement allusives, mais que l'usage de la mélodie rend explicites. « La musique elle-même peut être ralentie ou au contraire accélérée, elle débute parfois après l'affichage d'éléments visuels. Ce sont des stratégies qui rendent les contenus très difficiles à repérer », explique la chercheuse. Toutes les tendances politiques s'expriment à travers la musique, du jazz au rock alternatif, du rap à la variété, de la scène aux réseaux sociaux, d'un continent à l'autre. Dans un ouvrage à paraître cette fin d'année sous la codirection de Justine Simon, des chercheurs de différentes disciplines promettent de décrypter la façon dont elle véhicule les discours, et la perception qu'en a le public. Cette publication s'inscrit dans le cadre du projet de recherche pluridisciplinaire « LaSiDo : la politique en musique », qui prévoit également l'organisation courant novembre d'une activité pédagogique, d'une journée d'études et d'un événement à destination du grand public, tous consacrés à ce thème.

Contact :
Laboratoire ELLIADD
UMLP
Justine Simon
justine.simon@dynamots.fr

SANTÉ ENVIRONNEMENTALE

QUI SE SOUCIE
DE LA GRENOUILLE DE DARWIN ?

Espèce endémique du Chili et de l'Argentine, petit gabarit aux mœurs étonnantes, la grenouille de Darwin est en danger d'extinction. Celle du sud, une précision à noter, puisque celle du nord a déjà disparu. La grenouille de Darwin est l'un des sujets d'observation d'Hugo Sentenac, qui, après études et pratique vétérinaires, a choisi d'agir en faveur de « la préservation de la faune sauvage libre ». Aujourd'hui enseignant-chercheur en écologie de la santé à l'UMLP / laboratoire Chrono-environnement, Hugo Sentenac s'intéresse donc de près au petit amphibien, selon une démarche socio-écosystémique qui guide l'ensemble de ses travaux. De longue date défendue au sein du laboratoire, l'approche inclut une vision globale de la santé, selon le concept *One Health* qui fait le lien entre santé humaine, animale et environnementale, et qui est aujourd'hui bien admis. À l'intérieur de ce schéma, des facteurs de stress naturels ou anthropiques sont susceptibles de se combiner de multiples manières et d'influencer le fonctionnement et la santé des

socio-écosystèmes. La faune sauvage est impactée par des facteurs de stress tels que la disparition des habitats, les changements de température, les pollutions de diverses natures, la concurrence des espèces envahissantes, la prolifération des algues ou la diffusion des microplastiques. Le parasitisme en est un autre, dès lors qu'il dépasse son rôle naturel de force sélective agissant sur la biodiversité.

« Les choses tournent mal en particulier lorsque le parasite et son hôte n'ont pas d'histoire évolutive commune », explique le chercheur.

Ainsi deux chytrides originaires de l'Asie de l'Est et du Sud-Est, où ces champignons ne posent aucun problème aux espèces locales avec lesquelles ils ont évolué, sont-ils pathogènes pour les grenouilles de Darwin, et de façon générale pour les amphibiens : sur les 8553 espèces que compte cette classe, les chytrides sont impliqués dans le déclin d'au moins 500 espèces et seraient responsables de l'extinction de 90 autres. « Ils s'attaquent à la sphère buccale des larves, et à la

peau des adultes. Or la peau est un élément primordial du mode de vie des amphibiens. Lorsqu'elle est infestée par les parasites, ils ne peuvent survivre. »

Le déclin de ces animaux à sang froid a un impact sur l'équilibre des écosystèmes, notamment aquatiques. Il met en péril certains de leurs prédateurs, dont ils sont la nourriture exclusive, autant qu'il permet la prolifération de leurs proies, désormais moins menacées. C'est le cas des moustiques, dont l'augmentation des populations s'est par ailleurs accompagnée d'une incidence

plus forte de la malaria chez l'homme, une relation de cause à effet vraisemblable, qui reste cependant à confirmer.

« Les santés écosystémique et humaine sont étroitement liées, et si l'impact du manque de diversité diffère selon les contextes, c'est un élément souvent impliqué dans les processus en jeu », souligne Hugo Sentenac. Le cas de la malaria est une illustration des interactions à l'œuvre dans les socio-écosystèmes, et qui sont à l'origine de très nombreuses émergences de maladies infectieuses chez l'homme :

pas moins de 335 sont apparues entre 1940 et 2004, dont 60 % transmises par des animaux. Et plus de 70 % de ces zoonoses sont réputées provenir de la faune sauvage. À l'intérieur de ces vastes et complexes fonctionnements en chaîne, la grenouille de Darwin retient toute l'attention du chercheur, comme d'autres amphibiens et d'autres animaux sauvages encore.

Contact :
Laboratoire Chrono-environnement
UMLP / CNRS
Hugo Sentenac
hugo.sentenac@univ-fcomte.fr

À VOS AGENDAS !

LA SCIENCE SUR LE DEVANT DE LA SCÈNE

Ce sont deux rendez-vous incontournables de l'automne : la Nuit des chercheur.e.s aura lieu le 26 septembre en soirée à Besançon, et la Fête de la science du 9 au 12 octobre, à Besançon et à Belfort : les 11 et 12 sont spécifiquement destinés au grand public, après deux jours réservés aux scolaires.

La Nuit propose cette année aux chercheurs de « Donner de la voix », selon plusieurs variations qui leur fourniront l'occasion de s'exprimer et d'échanger avec le public. Sur le ton de l'humour, les scientifiques raconteront comment ils ont eu à *hausser le ton* au cours de leur carrière, des anecdotes pour parler de leurs sujets de recherche et de leur quotidien au laboratoire. Des chansons qui ont marqué leur parcours sont un autre prétexte : qui, des Fatals Picards ou de Beyoncé, a rythmé la rédaction de leur thèse ? Réponse en chansons, à entonner avec des artistes dans *Chante avec les chercheurs*. Et comme chacun le sait, les paroles s'envolent... ou

pas ! Certaines ont même une telle résonance qu'elles peuvent marquer ou orienter un parcours professionnel. Dans *Un mot et tout bascule*, des récits enregistrés sous forme de *podcast* avec Radio Campus Besançon en amont de la manifestation, les chercheurs expliqueront comment un mot,

contemporain) Franche-Comté, qui l'accueillera à la Cité des arts de Besançon, où des enquêtes sonores et des performances vocales ne manqueront pas d'achever de séduire le public. « **Intelligence(s)** » est cette année le thème national de la Fête de la science, qui s'enrichira de bien d'autres sujets à Besançon



une phrase d'encouragement les ont mis sur la voie de la recherche. L'édition 2025 de la Nuit des chercheur.e.s est organisée par le service Sciences, arts et culture de l'UMLP en partenariat avec le Frac (Fonds régional d'art



et à Belfort, où elle est organisée respectivement par le service Sciences, arts et culture de l'UMLP et le Pavillon des sciences

de Montbéliard. Les stands, pour certains animés par des chercheurs, sont à destination de tous les publics : manipulations, expériences et discussions satisferont la curiosité des petits et des grands dans une ambiance festive et familiale. À Besançon, le village des sciences accueillera les participants sur le campus de la Bouloie et notamment dans BIOME, un espace qui, fraîchement inauguré, réunit les serres et le parcours extérieur du Jardin botanique, ainsi que

la Fabrika. L'occasion de (re)voir la méridienne ancienne de l'Observatoire, de découvrir en avant-première et avec des experts en neurosciences *L'expo qui prend la tête*, la toute nouvelle exposition de la Fabrika sur l'apprentissage et la mémoire, ou de rencontrer les robots de l'Institut FEMTO-ST. La compagnie Dreamix proposera un spectacle de théâtre participatif et Radio Campus Besançon un plateau en direct pour des présentations de projets

de recherche en un temps record. Le Museum d'histoire naturelle, le FabLab des fabriques et la *start-up* BioAlva figurent également au nombre des partenaires de la manifestation.

Contacts :
Service Sciences, arts et culture
UMLP
Lucie Vidal / Magali Cabanas
Tél. + 33 0(3) 81 66 51 86 / 55 06
lucie.vidal@univ-fcomte.fr
magali.cabanas@univ-fcomte.fr

CHAPITRES JURIDIQUES

UN DICTIONNAIRE TRANSFRONTALIER À CHEVAL SUR LES NOTIONS DE DROIT

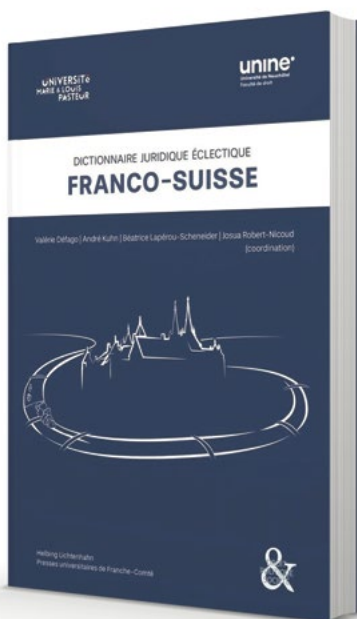
On peut être voisins et mal se comprendre. C'est partant de ce constat que les juristes Valérie Défago, doyenne de la faculté de droit de l'UniNE et Béatrice Lapérou-Schneider, enseignante-chercheuse en droit privé et sciences criminelles à l'UMLP / CRJFC, ont entrepris et piloté l'édition d'un dictionnaire à l'usage des spécialistes du droit

comme du grand public, de part et d'autre de la frontière franco-suisse. Une idée originale, et un ouvrage qui ne l'est pas moins, rédigé par une soixantaine de contributeurs, tous juristes, et qui propose d'examiner les droits suisse et français à partir d'une centaine de termes juridiques expliqués et commentés.

Le *Dictionnaire juridique éclectique franco-suisse* propose ainsi de pointer les différences comme de mettre en avant les spécificités des deux droits, pour une lecture qui peut être comparative, mais aussi s'attacher à un côté et à un autre de la frontière, ici concrétisés sous forme de colonnes. Les termes choisis, comme *aide à mourir*, *licenciement abusif*, *permis de construire* ou encore *sanctions pénales* renvoient de façon très actuelle à des concepts juridiques ou à des phénomènes sociaux vus sous l'angle du droit. Loin de vouloir figer sur papier des notions en constante

évolution, les coordinatrices ont choisi de faire vivre et grandir leur projet sur le Portail du droit franco-suisse, arcjuris.org. La version numérique du dictionnaire sera ainsi régulièrement mise à jour, dans l'attente peut-être de futures rééditions.

L'ouvrage, une première dans le monde de l'édition juridique, a été financé par la Communauté du savoir et l'association de coopération franco-suisse arcjurassien.org. Un premier vernissage de l'ouvrage a eu lieu à l'université de Neuchâtel en juin dernier ; un second est prévu le 10 octobre prochain à Besançon, en collaboration avec la Ville de Besançon, le Grand Besançon et la Région Bourgogne - Franche-Comté. Les organisatrices de ce projet ont mis à profit cette collaboration franco-suisse pour fêter le 50^e anniversaire du jumelage entre les villes de Neuchâtel et de Besançon.



Défago V., Lapérou-Schneider B., Robert-Nicoud J. (dir.), *Dictionnaire juridique éclectique franco-suisse*, éditions Helbing Lichtenhahn Verlag et PUFC, 2025.

BIOLOGIE

LES LIAISONS SECRÈTES ET INFINIES
DU MONDE VIVANT

Les preuves s'accumulent et les consciences s'éveillent pour considérer que l'être humain fait partie intégrante de la nature, qu'il en est un composant, tout comme le sont les arbres, les plantes, les autres mammifères, les champignons ou les acariens. Des relations et des interactions biologiques, chimiques et génétiques se tissent au sein d'une même espèce et entre les espèces, elles sont au cœur de l'évolution de la Vie sur Terre. Cette hypothèse d'une « évolution incessante et interdépendante à tous les organismes » est celle que formule Blaise Mulhauser, et qu'il développe de manière passionnante dans son ouvrage *Le continuum du vivant*.

S'OUVRIR
AU CONCEPT
DE « SYMBIOLOGIE »

Blaise Mulhauser est biologiste et écologue, et directeur du Jardin botanique de Neuchâtel.

Il propose dans cet essai d'ouvrir la biologie et ses différents champs d'analyse à ce qu'il nomme la « symbiologie » : c'est l'étude du vivant élargie à ses fonctionnements secrets, invisibles, mais bien réels, une approche comparable à celle de la mécanique quantique dans le domaine de la physique.

L'auteur met en évidence cette optique nouvelle, parfois dérangement comme tout ce qui fait progresser les connaissances établies, en la nourrissant d'exemples scientifiques et de réflexions d'ordre philosophique. « Pour comprendre l'évolution de la Vie, il faut se souvenir

que les bactéries ont réussi à mettre au point la photosynthèse, un processus majeur qui permet de transformer la lumière en une source d'énergie utilisable par l'organisme. »

Et que l'oxygène s'est placé au centre des processus biologiques régissant le monde vivant il y a huit cents millions d'années, après que son taux a remonté dans l'atmosphère à la fin de glaciations intenses.

Ou encore que l'apparition des abeilles date de cent millions d'années, comme

celle des plantes à fleurs, ce qui n'est pas une coïncidence. Autant d'évolutions lentes et mises en place sous l'action de micro-organismes à la capacité d'adaptation et à la vitesse de reproduction incroyables. L'« intention » de ces microbes, virus et bactéries, comme celle de tous les êtres vivants avec lesquels ils évoluent et qu'ils font évoluer, est de se préserver de variations environnementales potentiellement menaçantes pour leur survie. Ce processus symbiotique entre espèces peut parfois se montrer défaillant, expliquant le parasitisme et les épidémies, et que de tels phénomènes puissent toucher certaines espèces et pas d'autres. L'auteur met l'accent sur la

frontière parfois ténue entre parasitisme et effets bénéfiques des micro-organismes, et explique qu'on pourrait gagner à les considérer différemment.

« Notre conception des microbes et des virus, et au-delà, toute notre approche du vivant, est biaisée dès l'instant où, portée par l'espoir de se guérir de maux terribles, l'humanité a concentré ses efforts dans son combat contre les causes de la mort. »

LE MICROBIOTE,
L'ORIGINE DU CERVEAU

Le biologiste s'intéresse à la notion de microbiote, arguant que notre système digestif n'est pas notre second cerveau comme on l'entend souvent, « mais qu'il en est l'origine ». Il montre comment la composition de la flore intestinale influence des comportements observés chez le rat ou l'araignée, comment cette dernière réalise des toiles de formes et de résistance aussi différentes que les substances qu'on lui fait ingérer. La caféine par exemple lui fait produire des géométries invraisemblables et inutilisables. L'auteur souligne que ce résultat n'est pas si étonnant, si l'on considère que

la caféine est une substance active produite par le caféier pour se protéger des attaques d'insectes ravageurs qui sont des arthropodes, comme le sont les araignées...

La notion de comportement renvoie à celle de conscience, auxquelles, comme celle d'intention, il convient de donner une acception bien plus large que celles qui sont caractéristiques de l'être humain. On le sait aujourd'hui, les animaux, les végétaux, les champignons et les bactéries réalisent des alliances et « communiquent » entre eux, des échanges basés sur une « conscience chimique » ou « organique ».

« Il ne faudrait pas chercher un type de "conscience humaine" chez la laitue », relève le biologiste avec humour, qui suggère cependant sérieusement que « chaque espèce devrait pouvoir être caractérisée par un certain type de conscience, tout comme il en va de la caractérisation morphologique de ses organes », soulignant à cet égard la différence entre le bras de l'*homo sapiens* et l'aile du colibri. Blaise Mulhauser met en lien son hypothèse avec la réalité du bouleversement climatique ou de la récente épidémie de Covid-19 dans ce livre aussi surprenant que fascinant, dont ces mots pourraient constituer, non pas une conclusion, mais une invitation pour notre réflexion d'être humain : « Gardons à l'esprit les liens indéfectibles qui unissent tous les êtres vivants et prenons conscience qu'ils sont l'aboutissement de la longue et passionnante évolution d'un tout dont nous ne sommes que l'expression particulière. »

Mulhauser B., *Le continuum du vivant*, Éditions Épistémé, 2024.
Téléchargeable gratuitement sur le site www.epfpress.org

CARNET DE BORD

PLONGÉE ARCHÉOLOGIQUE EN ALASKA

Quelle puissance atteint l'archéologie lorsqu'en exhumant les objets du passé, elle relie les peuples des mondes anciens et ceux d'aujourd'hui ! Les habitants de Quinhagak, village de l'extrême sud-ouest de l'Alaska, vont grâce à elle à la rencontre de leurs

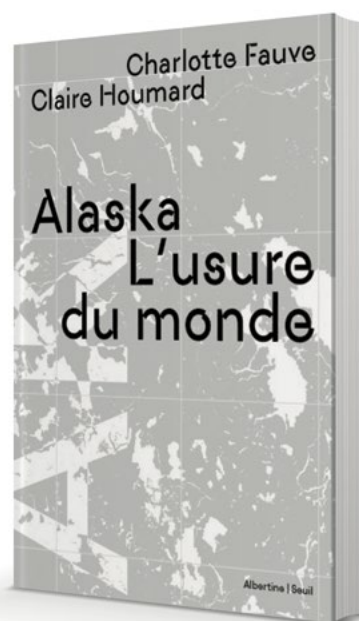
ancêtres ayant vécu à Nunalleq, situé à quelques kilomètres de là, au bord de la mer de Béring. Le « vieux village », détruit au XVII^e siècle, victime des guerres fratricides de l'Arc et de la Flèche qui ont sévi pendant des décennies en Arctique, s'est transformé en chantier de fouilles. Plus de 100 000 objets¹ y ont été trouvés à fleur de tourbe au fil des années, littéralement sauvés des eaux tant les éléments se déchainent dans cette partie du monde placée à l'avant-poste du changement climatique.

Les tempêtes sont devenues plus violentes et plus nombreuses en raison du réchauffement de la mer et de périodes de gel qui tardent à venir, l'érosion attaque les côtes, la fonte du permafrost et la montée des eaux sont des ennemis déclarés : les trésors anciens de Nunalleq sont menacés, tout comme l'est aujourd'hui l'équilibre de vie des Yupiit² de Quinhagak, dans cette région rude dominée par

la toundra. Peuple autochtone de tradition orale, les Yupiit cultivent le souvenir et le respect des Anciens, continuent à faire vivre les croyances et les rituels ancestraux. Figurines, masques et parures imagent de façon tangible les récits transmis de

génération en génération, outils et ustensiles de cuisine racontent les gestes d'un quotidien vécu dans des conditions extrêmes, alors que sévissait le Petit Âge glaciaire. Les découvertes faites à Nunalleq sont d'autant plus précieuses pour les Yupiit que pour eux, les objets ne sont pas inanimés, mais au

contraire possèdent une âme.



DES LIEUX TÉMOINS DU PASSÉ... ET FENÊTRES SUR L'AVENIR

Enseignante-chercheuse à l'UMLP / Chrono-environnement, l'archéologue Claire Houmard est responsable de la mission française Yup'ik 2022-2025, qui mène ses pas l'été à Quinhagak et sur le site de Nunalleq. La journaliste Charlotte Fauve accompagnait la mission 2024. La reporter en a ramené des notes et des impressions, que l'archéologue a complétées de

commentaires scientifiques, l'ensemble donnant naissance à un livre écrit à quatre mains. *Alaska. L'usure du monde* est le témoignage d'une campagne archéologique et d'une aventure humaine hors du commun. On découvre au fil des pages de nouveaux artefacts avec les archéologues français et américains. On rencontre les habitants de Quinhagak, Minnie dans sa maison rouge, qui cuisine pour toute l'équipe et évoque son grand-père chaman disparu, Mary et son jardin, où une corde à linge est tendue entre les os blanchis d'un squelette de baleine, Jimmy, qui économise ses mots mais pas sa peine pour apporter son aide sur le chantier, Ben et les enseignements qu'il a appris des Anciens pour traquer l'ours noir...

Charlotte Fauve, *la Raconteuse*, comme ils l'ont surnommée là-bas, mène son récit à la manière d'un journal de bord, en trente jours qu'a duré la campagne archéologique. Une narration sensible, poétique et savoureuse, qui capte l'attention et attise l'émotion. Trente jours et autant de chapitres émaillés par les commentaires scientifiques de Claire Houmard, qui apporte de superbes éclairages sur la vie passée et présente des Yupiit, rebondissant sur un mot mis en exergue dans le texte pour l'associer à des connaissances et des découvertes archéologiques. Il est ainsi question des dangers des régions arctiques, qui guettent surtout les habitants non natifs qui ne connaissent encore que trop peu les pièges que représentent la toundra, les marais, la grande faune sauvage, le vent, le froid ; des pratiques entourant la pêche au saumon, la principale subsistance des habitants, dont la ressource est mise en péril ; de l'origine des *maqii*, cabanes familiales où se prennent les bains de vapeur ;

des maisons semi-souterraines qu'occupaient traditionnellement les peuples de l'Arctique, et dont il reste aujourd'hui des usages ; de *l'œil de la conscience*, symbole pictural dont le nombre d'anneaux témoigne du stade de développement d'un être humain...

L'ouvrage fait vibrer la découverte archéologique. Il la rattache à l'histoire des ancêtres, disparus mais présents dans les esprits yupiit, et à la vie de leurs contemporains confrontés au bouleversement climatique. « L'Arctique est l'une des rares régions sur le globe où l'archéologie paraît encore vivante. Pour le chercheur européen qui y intervient, la proximité qui existe entre le passé et le présent, même à cinq cents ans d'intervalle, est parfois troublante », annoncent les auteures en préambule.

Fauve C., Houmard C., *Alaska. L'usure du monde*. Éditions du Seuil / Villa Albertine, 2025.

Ce livre est le témoignage d'une campagne archéologique et d'une aventure humaine hors du commun



Photo Nunalleq Museum

¹ Exposée dans le petit musée de Quinhagak, cette collection serait « la plus grande jamais réunie d'un peuple nordique pré-contact, avant le grand brouhaha, à en rendre jalouses les plus grandes institutions de par le monde ». Pré-contact, c'est-à-dire avant que les colons américains occupent le territoire à la fin du XIX^e siècle. « Du temps de Nunalleq, les résidents n'ont probablement pas encore rencontré l'Homme blanc. »

Le site archéologique, exceptionnel, a été estimé comme « l'une des 100 grandes découvertes qui éclairent l'histoire du monde » par le National Geographic, dans son édition de novembre 2021.

² Yupiit est le pluriel de Yup'ik



Photo Annie Spratt - Unsplash

Souvent évoquées dans les argumentations des débats politiques, les classes moyennes représentent la majeure partie de la population active française. Il est question de leur effacement, de leur disparition même. Mais pour en juger, place-t-on le curseur au bon endroit ?

FAIT [DE SOCIÉTÉ]

DES CLASSES MOYENNES EN PÉRIL ?

Un Français sur deux ferait partie des classes moyennes, parfois sans qu'il ait ce sentiment d'appartenance

Elles constituent la plus grande part de la population active française, pourtant il est difficile d'en donner une définition précise ou qui fasse consensus.

Les classes moyennes voient aussi leur évolution s'accom-

pagner de flou au fil des décennies, tant

leurs caractéristiques sont nombreuses et les interprétations les concernant diverses.

Le pluriel est en tout cas de mise depuis le début du XX^e siècle pour les désigner...

Économiquement parlant, les classes moyennes représentent la large frange de population insérée entre les plus nantis et les plus défavorisés.

On parle de classes moyennes inférieures ou supérieures, une stratification qui peut faire craindre à ceux qui se situent en bas de l'échelle de basculer vers la classe populaire

et espérer à ceux qui occupent le niveau supérieur de rejoindre le clan *select* des plus fortunés.

UNE DÉFINITION COMPLÉTÉE PAR LA SOCIOLOGIE

Le point de vue sociologique, qui met les professions au centre de l'analyse, permet d'approcher de manière plus complète ce découpage. Les cadres supérieurs et les chefs d'entreprise forment pour l'essentiel la classe aisée. Les ouvriers et les employés non qualifiés composent la classe populaire. Entre ceux qui décident et ceux qui exécutent se trouvent à peu près tous les autres actifs : ce sont les « professions intermédiaires », cadres moyens, techniciens, professeurs des écoles, ouvriers qualifiés, infirmiers, artisans, commerçants... Un Français sur deux ferait partie des classes moyennes, parfois sans qu'il ait ce sentiment d'appartenance.

Enseignant-chercheur à l'UMLP / laboratoire Logiques de l'agir, Vincent Bourdeau remonte aux sources du concept de classe moyenne pour mieux cerner ses évolutions. « Le terme est apparu au XVIII^e siècle chez les économistes, qui souhaitaient comprendre la société à partir de son fonctionnement réel. Le travail en est alors au centre : tous les travailleurs seront répertoriés dans une même catégorie, jugés « utiles » par opposition aux rentiers ou aux oisifs », explique le philosophe. Dès le début du XIX^e siècle, la « classe mitoyenne » est celle qui assure son indépendance économique grâce à son travail. Le XX^e siècle sera celui des classes moyennes au pluriel, qui partagent certains points communs tels que la possession d'un outil de travail et la capacité d'assurer l'accomplissement d'une tâche depuis sa conception jusqu'à son terme. La notion de liberté collective, attachée à une profession, se développe dans les syndicats. « Elle pose les bases de l'existence de groupes sociaux qui ont conscience des normes de leurs métiers, et qui en ont la maîtrise. »

UNE IDENTITÉ DISCUTÉE PAR LES ANALYSTES

Les classes moyennes voient leurs effectifs monter en flèche pendant deux décennies à partir de 1965, alors que la création d'emplois dans les secteurs éducatif et médicosocial augmente notablement. L'accès à la formation et l'obtention de diplômes ont pour conséquence une requalification de ces emplois vers le haut, et permettent à ceux qui les occupent de grimper dans l'échelle sociale. Certains analystes considèrent à ce titre que les classes moyennes, entre

la hantise de voir leur niveau de vie chuter et la volonté de s'élever encore, n'ont pas de traits de personnalité propres. D'autres estiment au contraire que leurs projets de vie fondent leur identité, avec pour socle commun le travail et les efforts à fournir pour parvenir à leurs objectifs.

Les classes moyennes sont celles de l'accession à la propriété, au confort matériel, aux loisirs. Ce sont aussi celles qui mettent leur énergie au service de l'État.

« Le clivage entre ces deux finalités est d'ailleurs la cause d'une lutte des classes interne », estime Vincent Bourdeau, qui d'un autre côté voit

combien la pluralité des classes moyennes établit et garantit un lien essentiel entre les différents acteurs de la société. L'école est ainsi un creuset social par excellence, en dehors même des salles de cours : animée par les enseignants, représentants des classes moyennes, l'école est un lieu où se rencontrent, à l'occasion d'une kermesse de fin d'année par exemple, des parents issus de tous milieux, des artistes, des employés municipaux ou des entrepreneurs qui ont participé à mettre l'événement sur pied. C'est la fragilisation de métiers tels que ceux de l'enseignement, et avec elle le délitement du lien social, que craint le philosophe.

« On rend invisibles certains métiers et une part de ce qu'incarnent les classes moyennes, estime Vincent Bourdeau. Quand on défend les services publics, il faut montrer les gens qui sont derrière et qui travaillent pour l'intérêt général. Il faut redonner

son sens au travail accompli, et arrêter d'imposer des normes venant de l'extérieur, qui ne correspondent pas à la façon dont le métier doit être fait ».

Au-delà de la question de la paupérisation des classes moyennes, qui selon les spécialistes reste sujet à débat, c'est la crise de sens que rencontrent les classes moyennes dans leur travail et dans

Au-delà de la question de leur paupérisation, qui reste sujet à débat, c'est la crise de sens que rencontrent les classes moyennes dans leur travail et dans leur identité qui est à questionner

leur identité qui est à questionner. En témoignent certains discours politiques qui les considèrent de façon homogène, évoquant la classe moyenne ramenée au singulier, et des présentations médiatiques qui en donnent une image parcellaire ou déshumanisée.

Les travaux de recherche que Vincent Bourdeau consacre aux classes moyennes feront l'objet de la publication d'un livre dans les mois prochains.

Contact :
Laboratoire Logiques de l'agir
UMLP
Vincent Bourdeau
vincent.bourdeau@univ-fcomte.fr



Photo SSAG - UMLP

Planter, cultiver, préserver et conserver, décrire des espèces nouvelles, réintégrer dans leur milieu naturel celles qui en avaient disparu..., les actions du Jardin botanique sont multiples et complémentaires. Trois cents ans après son rattachement à l'université, le Jardin s'installe au cœur du campus de la Bouloie. L'occasion d'écrire une nouvelle page de son histoire.

PLANS [D'AVENIR]

LE RENOUVEAU DU JARDIN BOTANIQUE DE BESANÇON

Il fait partie intégrante de BIOME, le nouvel espace de culture scientifique inauguré

le 30 août dernier sur le campus de la Bouloie : le Jardin botanique de Besançon expose ses plantations d'extérieur aux promeneurs, et derrière les vitres de ses serres flambant neuves, des centaines d'espèces végétales captent l'attention des visiteurs. Composées de plantes en provenance du monde entier ou d'origine locale, ses collections se sont encore enrichies à l'occasion de son changement d'adresse. Un renouvellement en grande partie assuré par des acquisitions et des échanges, en vue d'assurer la mission prioritaire de tout jardin botanique :

l'étude et la conservation des plantes. « Certaines espèces sont rares, voire ont disparu de leur

environnement naturel, il est donc capital de les conserver à différents endroits pour garantir leur préservation », souligne Arnaud Mouly, directeur scientifique du Jardin botanique de Besançon. Il subsiste par exemple ici, et dans quelques autres jardins, des spécimens de l'espèce *Deppea splendens* dont on ne trouve plus trace depuis plusieurs dizaines d'années sur leurs terres originelles d'Amérique du Sud.

PLANS D'URGENCE

Dans les recherches qu'il mène au laboratoire Chrono-environnement, c'est en Nouvelle-Calédonie et Polynésie française qu'Arnaud Mouly recense la biodiversité végétale et établit des plans de sauvetage d'urgence. « La menace d'extinction dans les milieux insulaires est plus forte que partout ailleurs. Certaines populations comptent à peine cent individus, parfois beaucoup



Certaines des espèces conservées au Jardin botanique de Besançon ont complètement disparu de leur environnement naturel, comme *Deppea Splendens*, originaire et absente depuis plusieurs décennies d'Amérique du Sud.

moins ! Il s'agit d'accompagner les autorités dans leurs programmes de sauvegarde, de déterminer les espèces à enjeu de conservation, de décrire des plantes rares qui sont parfois connues depuis peu et ne possèdent même pas encore de nom scientifique. » Car les interventions des botanistes en faveur de la préservation des espèces dépassent bien sûr le cadre de la culture sous serre pour investir le terrain. À l'échelle régionale, grâce à un projet mené depuis dix ans sur le sol comtois, des plants locaux de saxifrage œil-de-bouc (*Saxifraga hirculus*) ont ainsi été réintroduits dans une dizaine de tourbières pour que la petite fleur jaune se réapproprie son environnement naturel, sous la surveillance des chercheurs. La saxifrage de Gizia est quant à elle une rescapée des dernières glaciations et n'existe nulle part ailleurs dans le monde qu'en Franche-Comté. On ne connaît de cette espèce endémique de la région que deux populations, l'une dans le Jura, l'autre dans le Doubs, piégées dans des falaises de basse altitude, et qui se sont adaptées au fil des millénaires. Leur survie dans ces conditions les fait apparaître comme un cas d'isolement génétique qui force l'intérêt des chercheurs et incite à les préserver : un plan de conservation de la saxifrage de Gizia est en cours, pour lequel le Jardin botanique de Besançon est partenaire. « C'est grâce aux nouveaux équipements dont le Jardin est aujourd'hui doté, et qui accompagnent son redéploiement sur le site de la Bouloie dans des locaux adaptés, que nous pourrions favoriser toujours plus d'applications de terrain à partir de notre expertise de recherche », indique Arnaud Mouly. Le directeur souligne également le rôle primordial des passionnés qui arpentent les territoires en quête de trouvailles végétales :

MISSIONS D'ACTUALITÉ

Piloté par l'université Marie et Louis Pasteur, le Jardin botanique de Besançon est intégré au service Sciences, arts et culture dirigé par Jérémie Querenet. Le Jardin reçoit le soutien financier de la ville de Besançon, qui notamment emploie trois de ses cinq jardiniers, ainsi qu'un apprenti. La coordination technique et scientifique est assurée par deux spécialistes en botanique de l'université, dont le directeur Arnaud Mouly. Ce fonctionnement s'intègre à une longue tradition académique, puisque l'affiliation du Jardin botanique à l'université date de 1726.

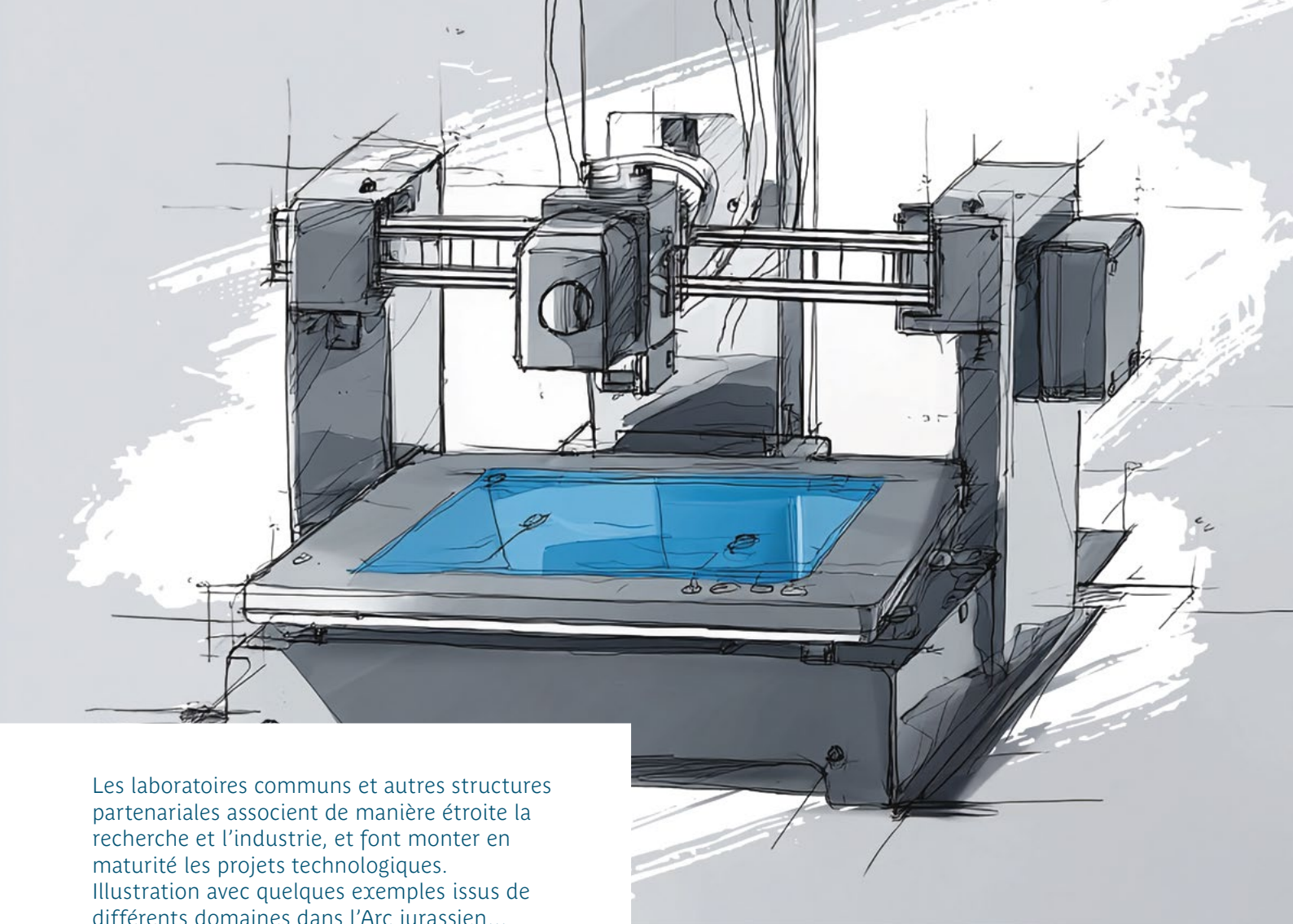
Trois cents ans séparent ainsi sa mission première de formation des étudiants en médecine à celles qui animent son équipe aujourd'hui. Outre les sciences ayant trait à l'environnement, le Jardin botanique vient en appui à l'enseignement et à la recherche de plusieurs disciplines : la pharmacognosie, dont les spécialistes travaillent à l'extraction de molécules de plantes pour en étudier l'intérêt thérapeutique ; la mécanique et la physique, à qui les structures des végétaux à l'échelle du micro- ou du nanomètre, par mimétisme, fournissent matière à innovation ; l'archéobotanique, la génétique et l'histoire, grâce aux graines ou végétaux anciens, aux composés et à l'ADN très instructifs pour l'étude du passé ; la philosophie même, qui établit des analogies entre structurations politique et végétale. En parallèle, le Jardin bisontin ne se départ pas de son rôle fondamental de conservation botanique et de préservation des espèces menacées, que le lien entre expertise universitaire et application de terrain rend particulièrement vivant.



La saxifrage de Gizia est une rescapée des dernières glaciations et n'existe nulle part ailleurs dans le monde qu'en Franche-Comté. Elle fait l'objet d'un plan de conservation, pour lequel le Jardin botanique de Besançon est partenaire. Photo J.-Y. Cretin, site cbnfc-ori-jura.

« Les données naturalistes sont pour l'essentiel recueillies grâce à des réseaux de professionnels et d'amateurs éclairés. Puis les scientifiques étudient et valident les intuitions de ces acteurs de terrain. Ce sont des échanges très fructueux entre recherche et société. »

Contact :
Jardin botanique de Besançon
UMLP / Ville de Besançon
Laboratoire Chrono-environnement
UMLP / CNRS
Arnaud Mouly
arnaud.mouly@univ-fcomte.fr



Les laboratoires communs et autres structures partenariales associent de manière étroite la recherche et l'industrie, et font monter en maturité les projets technologiques. Illustration avec quelques exemples issus de différents domaines dans l'Arc jurassien...

GRAND FORMAT [LAB AND CO]

DES PASSERELLES ENTRE RECHERCHE ET INDUSTRIE

« Le LabCom est
une déclaration
officielle de
la volonté
de travailler
ensemble »

Souvent mis en place à l'issue de plusieurs années de collaboration entre un laboratoire de recherche et une entreprise, un LabCom est un modèle partenarial officiellement reconnu par un label, développant un programme scientifique à moyen ou long terme, et qui peut être alimenté par différentes sources de financements, notamment par le biais de crédits alloués par l'Agence nationale de la recherche (ANR). Les laboratoires communs encadrent des projets à fort enjeu pour la recherche et pour l'industrie, et sont des outils privilégiés pour assurer le transfert de l'une vers l'autre.

« Le LabCom est un engagement fort, une déclaration officielle de la volonté de travailler ensemble. C'est une structure qui renforce les liens et qui favorise la visibilité du travail mené en commun », résume Nadège Courjal, enseignante-chercheuse en photonique intégrée à l'UMLP / Institut FEMTO-ST.

DES CAPTEURS POUR LA DÉTECTION DE CHAMPS ÉLECTRIQUES INTENSES

La recherche collaborative entre l'Institut FEMTO-ST et l'entreprise KAPTEOS est mise au service d'applications dans des domaines tels que la santé et la défense

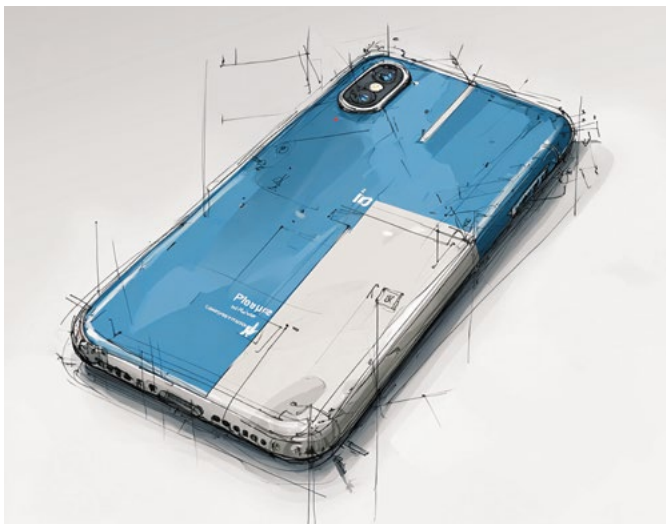
Nadège Courjal est la coordinatrice pour l'UMLP de SYRAH-lab¹, conclu avec l'entreprise KAPTEOS de Sainte-Hélène-du-Lac (73), qui s'est achevé fin juillet après cinq ans d'une recherche collaborative mise au service d'applications dans des domaines tels que la santé et la défense. Les compétences complémentaires des deux partenaires sont réunies pour répondre à la problématique de la détection de champs électriques intenses. Ces champs sont générés, par exemple, dans le cadre de traitements anticancéreux utilisant l'hyperthermie ou les plasmas froids, ou encore par les antennes relais utilisées pour les télécommunications. L'objectif est de mesurer et de cartographier ces champs électriques afin de mieux contrôler les dispositifs émetteurs, en vue de leur mise en conformité ou de leur optimisation.

KAPTEOS développe et commercialise des capteurs diélectriques, c'est-à-dire dépourvus de métaux, qui ne modifient pas les champs électriques lors de la prise de mesures. L'équipe de chercheurs dirigée par Nadège Courjal travaille à l'amélioration de la sensibilité et de la stabilité de ces capteurs, en recourant à la structuration de matériaux, une technique développée depuis plus de trente ans au département Optique de l'Institut FEMTO-ST. « La méthode traditionnelle pour réaliser des capteurs consiste à assembler des composants dotés de différentes fonctionnalités, mais ces assemblages peuvent poser des problématiques de stabilité à long terme. La structuration d'un matériau massif permet de produire un capteur monobloc, dans lequel sont inscrites toutes les fonctionnalités voulues », explique la chercheuse. Pour parvenir à ce résultat, des guides d'ondes optiques sont usinés à l'intérieur du matériau, ils piègeront et confineront de la lumière pour créer des systèmes de traitement d'information, en l'occurrence ici la détection de signaux électriques.

À l'instar du silicium pour l'électronique, le niobate de lithium est le matériau phare de la photonique, le domaine technologique qui exploite les propriétés de la lumière pour la fabrication de ces composants. Le niobate de lithium a été mis en œuvre pour la réalisation de guides d'ondes optiques de façon pionnière à FEMTO-ST, où son usinage, réputé très difficile, est assuré grâce aux compétences et équipements de la centrale de technologie MIMENTO. Les structures réalisées à l'échelle

nanométrique sont à l'origine de la mise au point de capteurs de taille équivalente, permettant la miniaturisation des systèmes : indétectables pour l'œil humain, ces capteurs affichent en effet des dimensions 80 fois plus petites que l'épaisseur d'un cheveu !

Le SYRAH-lab vient de se clore, après avoir consolidé les liens entre les deux partenaires et aidé à transférer les produits de la recherche vers l'industrialisation. D'autres projets vont continuer à faire vivre la collaboration, pour des applications principalement en faveur des domaines de la défense et du biomédical.



¹ Sondes intégrées hyperfréquences pour la mesure de rayonnement électromagnétique à haute sensibilité – Laboratoire de développement industriel.

L'intelligence
artificielle
est mise à
contribution
pour élaborer
les logiciels qui
permettront
d'assurer une
meilleure gestion
de l'activité des
pompiers

SOLUTIONS INFORMATIQUES POUR LE SECOURS À LA PERSONNE

Savoir où installer un nouveau centre de secours, pouvoir traduire en temps réel l'appel d'urgence d'une personne non francophone, prévoir des renforts au bon moment : c'est à ces questions essentielles, parmi d'autres, que répondent les solutions informatiques mises au point par le LabCom SADIAND.

SADIAND est un partenariat conclu entre le département DISC de l'Institut FEMTO-ST et la société lilloise SAD Marketing, sur la base des besoins et attentes formulés par les pompiers du SDIS 25. Le centre départemental était déjà impliqué dans le projet RESPONSE, consacré à la sécurité des hommes et des bâtiments. Le périmètre s'élargit avec SADIAND, qui concerne quatre centres de secours en France, chacun doté de problématiques spécifiques. Les solutions développées pourraient se décliner à d'autres structures du domaine de la sécurité civile, et intéressent également l'hôpital.

« Le secours à la personne est devenu une priorité pour les pompiers, qui sont confrontés au vieillissement de la population en même temps qu'à une baisse de leurs effectifs volontaires, et parfois de leurs moyens matériels », explique Christophe Guyeux, informaticien au DISC et responsable du LabCom pour l'UMLP.

L'intelligence artificielle est particulièrement mise à contribution pour élaborer les logiciels qui permettront d'assurer une meilleure gestion de l'activité des soldats du feu au quotidien. « Les documents dont disposent les pompiers, les données météo, les articles de presse fournissent des informations avec un recul de plusieurs années.

Ils sont lus et traités par IA générative. Cet ensemble de données fournit la base de connaissances nécessaires à un logiciel pour élaborer des prédictions. »

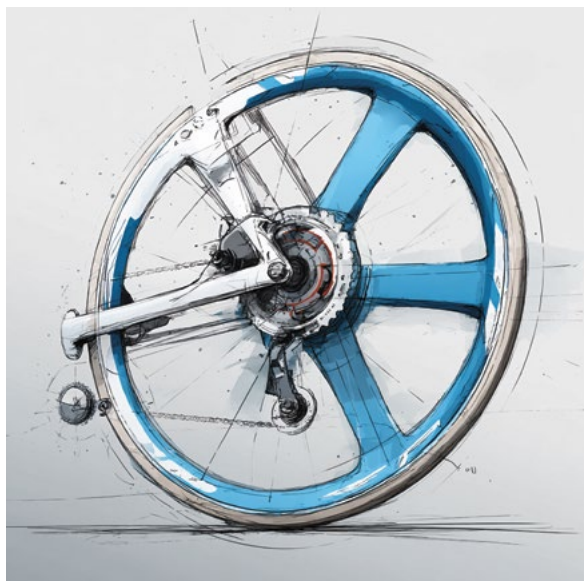
Du suivi des températures locales à l'évolution des activités de tourisme dans une région en fonction des saisons, le logiciel se nourrit de variables en perpétuel renouvellement. Les paramètres pris en considération fournissent la matière nécessaire au logiciel pour bâtir ses prévisions, et donner des clés aux responsables pour qu'ils puissent anticiper les situations d'urgence, organiser les gardes, planifier les pauses ou encore sensibiliser leurs effectifs à la survenue d'un événement.

« Le LabCom est un outil adapté pour faire gagner en maturité les logiciels issus de nos recherches et pour garantir leur maintenance. L'entreprise partenaire dispose des compétences en ingénierie et des moyens humains nécessaires pour assurer ces missions. Travailler de cette manière, c'est faire le pari de la viabilité économique et avoir l'assurance de mettre au point des solutions informatiques à moindre coût pour les SDIS », conclut Christophe Guyeux.



COURSES CYCLISTES ET SCIENTIFIQUES

Cyclisme et science forment depuis de nombreuses années une équipe gagnante à Besançon : la collaboration entretenue de longue date entre le laboratoire C3S de l'UMLP et l'équipe cycliste professionnelle Groupama-



Pionnier en France dans le domaine du sport, le LabCom LAME se prolonge de façon originale entre neurosciences et réalité virtuelle

Française des jeux a abouti en 2019 à la création du LabCom LAME, une première dans le domaine du sport. Lancé avec pour fil conducteur la performance, à ses origines principalement autour de recherches en biomécanique, il se prolonge depuis 2022 de façon originale entre neurosciences et réalité virtuelle : tolérance à l'effort et à la douleur, charge affective, force mentale s'ajoutent désormais à la liste des mots-clés qui guident les chercheurs, les doctorants et les étudiants impliqués dans des travaux entièrement consacrés au sport de haut niveau.

Au terme du projet initial, d'une durée de trois ans et ici doté d'un budget spécifique de l'Agence nationale de la recherche (ANR), le label LabCom reste acquis tant que la collaboration se poursuit, comme l'explique Alain Gros Lambert : « Le partenariat ne s'appuie plus sur un financement dédié, mais toujours sur l'exploitation des technologies, des équipements et des compétences développées dans le laboratoire de recherche et dans l'entreprise ».

Enseignant-chercheur à l'UMLP / laboratoire C3S, Alain Gros Lambert dirige le LabCom aux côtés de Frédéric Grappe, directeur de la performance à la SGE (Société de gestion de l'échappée), qui administre les activités des sponsors tels que Groupama et FDJ. L'une des recherches récentes concerne l'étude de l'intérêt de la réalité virtuelle (RV) pour l'entraînement des cyclistes : placé en immersion sur une route de montagne par le biais d'un casque de RV, un coureur fournit les efforts nécessaires et bien réels sur son vélo pour affronter une descente vertigineuse. « L'objectif est de tester les impacts de la descente sur les variables physiologiques, comme l'activité électrodermale et la fréquence cardiaque, et psychologiques, notamment le stress perçu. Cette mise en situation aide à redonner confiance aux cyclistes, lorsqu'ils ont par exemple été victimes de chutes. C'est une étape intermédiaire avant la reprise de l'entraînement sur le terrain. »

Aujourd'hui opérationnelle, cette méthode a auparavant été mise en lumière dans une publication scientifique.

Une autre recherche s'intéresse aux différences physiques et mentales observées chez des coureurs amateurs et professionnels d'une même tranche d'âge. Objet d'une thèse qui sera soutenue ce mois de septembre à l'UMLP, et là encore d'une publication scientifique, elle donnera des indications précieuses aux responsables de la SGE pour le recrutement et la formation de ses jeunes coureurs.

TREMPAINS POUR L'EMPLOI

Si les laboratoires communs donnent l'opportunité à une entreprise de bénéficier des apports de la recherche académique pour favoriser ses innovations, et en retour aident la recherche à prendre le chemin de l'industrialisation, ils constituent aussi une ressource

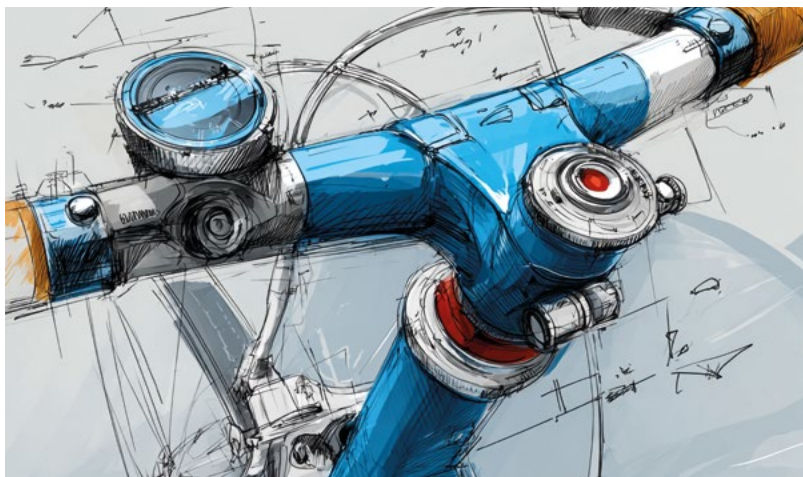
pour l'insertion professionnelle des étudiants et des doctorants. Nadège Courjal note ainsi que le SYRAH-lab a fourni l'occasion à un doctorant, impliqué dans le projet grâce à sa thèse, de rejoindre l'entreprise partenaire, alors même que son profil le destinait davantage

à la recherche académique.

Alain Gros Lambert voit également dans le LabCom un moteur pour l'emploi des jeunes : un chercheur et un ingénieur ayant fait leurs armes au LAME font aujourd'hui partie du staff R&D de la SGE, où ils poursuivent leurs travaux.

APPRENDRE À PÉDALER À L'ENVERS

Le vélo, c'est aussi la raison d'être du LabCom CITSAP², créé par le laboratoire SINERGIES et l'entreprise bisontine MTraining. Un vélo mis au point pour l'activité physique adaptée, et qui présente la particularité de faire pédaler... à l'envers. Les bénéfices de ce pédalage, dit excentrique, ont été scientifiquement mis en évidence dès les années 1950 et donnent lieu à des développements cliniques depuis une quinzaine d'années. Contrairement au vélo classique qui demande d'appliquer une force



musculaire sur les pédales pour créer le mouvement, sur un vélo excentrique les jambes tournent à l'envers, car elles cherchent à freiner un moteur qui entraîne les roues. De cette manière, les muscles se contractent en s'allongeant, et non en se rétrécissant comme c'est le cas en pédalant sur un vélo classique. Ce type d'activité apparaît moins difficile physiquement : la demande énergétique est beaucoup moins importante que lors du pédalage classique, ce qui en fait une pratique particulièrement intéressante pour les personnes atteintes de pathologies cardiaques, pul-

monaires ou de cancers, des patients fragilisés par la maladie mais pour qui l'exercice physique est recommandé.

La collaboration
fournit les
moyens de
développer un
vélo excentrique
pour la
rééducation,
qui soit
financièrement
accessible

« CITSAP nous fournit des moyens supplémentaires pour développer un vélo excentrique qui soit financièrement accessible pour les centres de rééducation ou les cabinets de kinésithérapie, sur la base d'un prototype que nous avons rendu fonctionnel, après un an à peine de collaboration », explique Laurent Mourot, qui codirige le LabCom pour la partie académique. Enseignant-chercheur en physiologie à l'UMLP / laboratoire SINERGIES, Laurent Mourot est aussi directeur de la plateforme EPSI³, dont le plateau technique est dédié à la santé par l'activité physique.

« Depuis plus de vingt ans, nous travaillons à l'individualisation de la prescription d'activité physique pour la santé. Celle-ci doit être adaptée en fonction de l'âge, du sexe, du poids, du mode de vie d'une personne, de ses pathologies, des traitements qu'il suit... C'est aussi un objectif prioritaire de nos travaux dans le cadre du LabCom, car la prescription d'un exercice excentrique demande de trouver de nouveaux repères. »

Si l'exercice paraît en effet moins difficile, le travail est bien là, et les effets sur l'organisme peuvent se faire ressentir avec un certain décalage dans le temps. Afin de tester l'ergonomie du prototype et de mesurer les impacts physiologiques des exercices pour assurer leur efficacité en toute sécurité, des essais cliniques sont actuellement menés sur des sujets sains à la plateforme EPSI, et seront proposés début 2026 à des patients en milieu hospitalier ou en centre de rééducation.

« Le LabCom donne un véritable coup d'accélérateur à une collaboration que nous entretenons depuis plusieurs années avec MTraining, et qui bénéficie d'un écosystème en ingénierie et en santé très favorable sur Besançon », souligne Laurent Mourot. Avec pour finalité la commercialisation d'un cyclo-ergomètre excentrique, puisque c'est son nom officiel, à des prix compétitifs pour l'équipement des professionnels de santé.

² Centre d'innovation technologique pour la santé par l'activité physique

³ Exercice performance santé innovation

UN SIMULATEUR DE POUMON POUR LA FORMATION DES SOIGNANTS

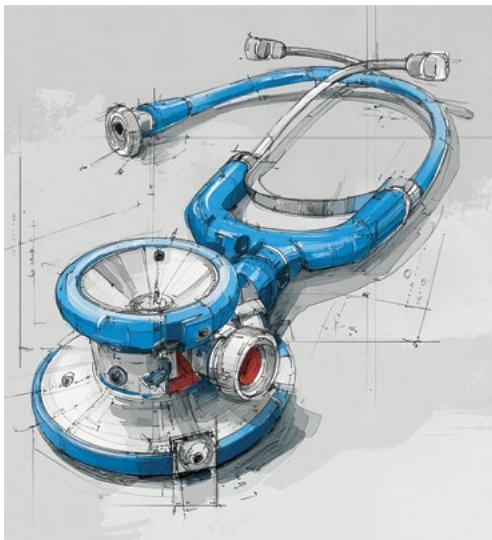
L'équipe
bénéficie des
équipements du
CRUNCH Lab, un
environnement
favorable pour
faire gagner son
projet Lusim
en maturité

Fabriquer des équipements pour une utilisation de routine en clinique, l'idée a également présidé au développement de Lusim, dans le cadre des dispositifs CRUNCH proposés par l'UTBM. Lusim est un « simulateur de poumon » dont l'observation et la manipulation donnent aux soignants la possibilité de se former, en amont des interventions qu'ils auront à réaliser à l'hôpital. Ce simulateur comporte un dispositif physique auquel s'ajoute un module de réalité virtuelle, pour un effet saisissant et très pédagogique.

L'idée est émise par deux médecins du service réanimation de l'hôpital Nord Franche-Comté, alors que sévit l'épidémie de COVID : l'afflux de patients en réanimation, pris en charge par des soignants également plus nombreux, et parfois peu formés aux techniques de ventilation, occasionne des délais de soin plus longs qu'à l'accoutumée. Laurent Faivre et Jean-Sébastien Buvat, qui réfléchissent à la conception d'un outil de formation à la ventilation, intègrent alors le CRUNCH Maker Camp : la compétition de type Hackaton fait plancher pendant 48 heures des étudiants, des chercheurs et des industriels autour de sujets de R&D. L'équipe remporte le premier prix de cette édition 2021, qui, doté de 3 000 €, lui permet de poursuivre l'aventure au CRUNCH Lab. Elle bénéficie alors des équipements de la structure, notamment en impression 3D, et s'adjoint les compétences de Lucas Romary, développeur de projets IOT⁴ pour le Lab. La *team* s'agrandit ensuite avec Jules Ferlin, ingénieur en informatique fraîchement diplômé de l'UTBM, et Fabrice Lauri, enseignant-chercheur en intelligence artificielle à l'UTBM / laboratoire CIAD. Le projet gagne en maturité, et si l'équipe continue à le développer dans les locaux de

la maison CRUNCH où elle loue un bureau, elle volera désormais de ses propres ailes en vue de la création d'une *start-up* : NEXSIM aura Lusim pour premier développement produit, avec l'idée que le simulateur de poumon inaugure pour la jeune entreprise une série d'équipements conçus sur le même modèle technologique, et qu'elle commercialisera pour répondre aux besoins sur le terrain.

Lusim est un simulateur physique en résine, réalisé par impression 3D, doté de divers mécanismes motorisés et connexions, auquel s'ajoute un simulateur de réalité virtuelle. On peut ainsi observer comment le « poumon » réagit à une pathologie créée artificiellement, et regarder à l'intérieur la trachée et les alvéoles, voire les infections qui les gagnent, grâce à l'outil de réalité virtuelle. « L'ensemble permet une compréhension fine d'une pathologie et des processus en jeu. Pouvoir les visualiser de cette manière a un impact très fort en pédagogie », explique Lucas Romary. Les soignants en formation ont alors toute latitude pour apprendre à maîtriser l'usage d'un ventilateur dans des situations simulées au plus proche de la réalité, pour apporter ensuite les soins nécessaires à un patient admis en service de réanimation à l'hôpital, dans les meilleurs délais.



L'HORLOGERIE SUISSE SE MOBILISE POUR LA MICRO-USINE

Concept audacieux développé depuis plusieurs années au MicroLeanLab de la Haute Ecole Arc, la micro-usine réussit à fédérer trois grands groupes horlogers suisses dans un même consortium. Confiant dans le système de production innovant imaginé par les chercheurs

⁴ Internet of Things. L'internet des objets est un réseau interconnecté de dispositifs physiques et de logiciels, qui échangent des informations et des commandes par le biais d'internet.

Les géants
Swatch Group,
Rolex et
Richemont ont
choisi d'unir
leurs forces dans
une collaboration
inédite, mise
au service de
l'avancement
du projet
de micro-usine
de la HE-Arc

et ingénieurs de l'école, intéressés par la rupture technologique qu'il promet, les géants Swatch Group, Rolex et Richemont ont choisi d'unir leurs forces dans une collaboration inédite, mise au service de l'avancement du projet. Un partenariat débuté en 2019, et pour l'instant reconduit jusqu'à 2028. Le MicroLeanLab est la plateforme où est assuré le développement de la micro-usine, et qui fait naître bien des espoirs industriels autour d'un prototype prenant la forme d'une grande étagère en bois de 3 x 3 m. Neuf mètres carrés et autant de cases correspondant à des blocs technologiques, chacun investi d'une opération de microfabrication pour l'horlogerie : deux microfraiseuses, une machine pour le dépôt de laques de protection et deux autres assurant des prises de mesures sont aujourd'hui opérationnelles. Les procédés de protection contre l'oxydation, de décoration au laser et de garnissage sont en cours de développement.

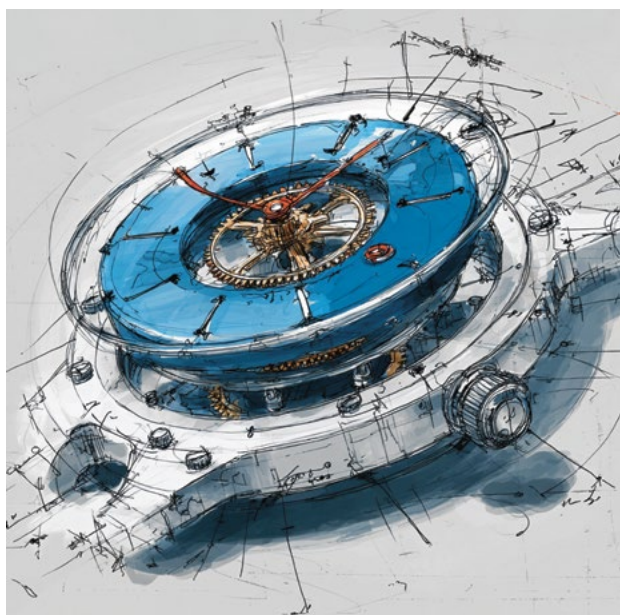
Le concept de micro-usine repose sur deux termes-clés : asynchronisation et autonomisation. Et sur l'expertise et la compétence de ses inventeurs et développeurs, dont l'idée était à l'origine de mettre au point un système de production de dimensions proportionnelles à celles des objets qu'il fabrique. La Micro5 est une illustration réussie de ce concept innovant : 250 de ces microfraiseuses équipent aujourd'hui des ateliers de fabrication, dix ans après la présentation d'un premier prototype. Un succès technique et commercial pour cet outil de production dont l'encombrement ne dépasse pas celui d'une machine à café, à la consommation énergétique réduite, et qui assure un taux de rendement synthétique (TRS) de 85 %.

Forte de cette expérience, la micro-usine va plus loin et remet en question le principe traditionnel de la production en ligne, dans laquelle les opérations de fabrication se succèdent et sont liées. Son organisation en blocs technologiques permet la gestion de plusieurs process en parallèle : si l'un est défaillant, il peut être relayé par une opération similaire menée dans la case voisine, et la panne n'impacte pas les autres procédés en cours. « La micro-usine est pilotée par un logiciel d'ordonnancement qui définit pour chaque pièce en fabrication sa gamme d'usinage, sous forme d'une suite de besoins technologiques. Les blocs technologiques sont des ressources spécialisées mises

à disposition des pièces en cours de fabrication.

L'ordonnanceur attribue le bloc technologique adéquat à la pièce qui vient de terminer un de ses processus, et l'achemine vers lui. Le flux n'est plus séquentiel, les ressources répondent à des demandes en temps réel. Plusieurs gammes définissant plusieurs pièces différentes peuvent cohabiter sur la micro-usine », explique Florian Serex, responsable du groupe de compétences Ingénierie horlogère à la HE-Arc, et de la valorisation des travaux effectués dans le cadre du MicroLeanLab.

La micro-usine est aussi conçue pour être autonome, c'est-à-dire capable de traiter ses propres données de production, d'analyser les processus en cours, d'évaluer l'usure des outils, en somme d'avoir une perception de la qualité de ce qu'elle fait en temps réel, et de pouvoir ajuster ses paramètres de fabrication. « C'est le début de la production zéro défaut, estime Florian Serex. Le réglage des machines n'a plus lieu d'être, cela représente des gains de temps énormes. Cette flexibilité favorise la production des petites séries que les marchés demandent aujourd'hui. » Aux côtés de Swatch Group, Rolex et Richemont, vingt-cinq fabricants





Illustrations Gwladys Darlot

de machines-outils pour l'horlogerie, de l'usinage des platines d'une montre à leur décoration, en passant par le sertissage de rubis, font partie du consortium MicroLeanLab : industriels et chercheurs assurent ensemble le développement de la micro-usine conçue par les équipes de la HE-Arc Ingénierie.

BLOCS TECHNOLOGIQUES POUR APPLICATIONS BIOMÉDICALES

La micro-usine a apporté les preuves de son intérêt et de sa viabilité, son développement peut s'accompagner de déclinaisons pour des applications autres que les microtechniques : le domaine biomédical est un nouveau défi pour l'équipe du MicroLeanLab ! Dans le projet européen DNAMIC⁵, les chercheurs travaillent au stockage de données sur de l'ADN de synthèse. L'objectif ? Assurer la sauvegarde de l'information à long terme, sur des supports de faible volume et sans consommation d'énergie. L'ADN de synthèse est le candidat idéal pour répondre à ces exigences. La démarche est comparable à celle qui prévaut en informatique : les

lettres A, T, G, C, qui correspondent aux composants de base de l'ADN, se substituent au système binaire organisé en 0 et 1 pour encoder l'information. La technologie est révolutionnaire : elle laisse envisager, selon les spécialistes, de pouvoir stocker toutes les données actuellement conservées sur des supports informatiques à travers le monde, dans le volume d'une boîte à chaussures !

Les grands noms de l'industrie européenne, fabricants de disques durs, de barrettes RAM et autres produits de la *data science* sont engagés dans la DNA Data Storage Alliance, qui traite tous les aspects de cette technologie de stockage. « Le stockage sur ADN est réputé inaltérable pendant cinq siècles, si les conditions de conservation, comme la protection aux UV, sont respectées. Si les molécules sont encapsulées de manière étanche, le délai peut atteindre des milliers d'années », explique Florian Serex, qui au MicroLeanLab travaille au coude à coude avec Jérôme Charmet, spécialiste en ingénierie biomédicale à la HE-Arc. L'idée est d'automatiser et d'autonomiser les processus de codage et de décodage de l'information, équivalant respectivement à la synthèse et au séquençage de l'ADN. Des procédés complexes, que les chercheurs entendent aussi simplifier, comme le séquençage, qui ne nécessite actuellement pas moins d'une cinquantaine d'opérations réalisées avec des produits différents.

« La micro-usine est dotée de standards électriques, mécaniques, transitiques, informatiques et de communication qui seront adaptés aux besoins de l'archivage et du stockage sur ADN. Elle pourra ainsi piloter les nouvelles opérations requises dans ses blocs technologiques, comme elle le fait dans le domaine microtechnique », assure Florian Serex. Il est prévu que le projet DNAMIC, lorsqu'il arrivera à son terme en septembre 2026, donne lieu à la création d'une *start-up* chargée du développement et de la commercialisation de la version biomédicale de la micro-usine.

⁵ DNA Microfactory for Autonomous Archiving regroupe sept partenaires en Europe. En Lituanie, la société Genomika, coordinateur du projet, et Kaunas University of Technology. En Suisse, la Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES SO), dont fait partie la HE-Arc, et l'Université de Genève. En Angleterre, l'Imperial College London. En Allemagne, la Technische Universität München. En Autriche, la société Kilobaser. <https://dnamic.org/>

Contacts :

Institut FEMTO-ST

UMLP / SUPMICROTECH / UTBM / CNRS
Département Optique
Nadège Courjal
Tél. +33 (0)3 81 66 55 85
nadege.courjal@femto-st.fr

Département DISC

Christophe Guyeux
Tél. +33 (0)3 84 58 77 22
cguyeux@femto-st.fr

Laboratoire C3S

Culture, sport, santé, société
UMLP
Alain Gros Lambert
Tél. +33 (0)6 65 61 30 22
alain.gros Lambert@univ-fcomte.fr

Laboratoire SINERGIES

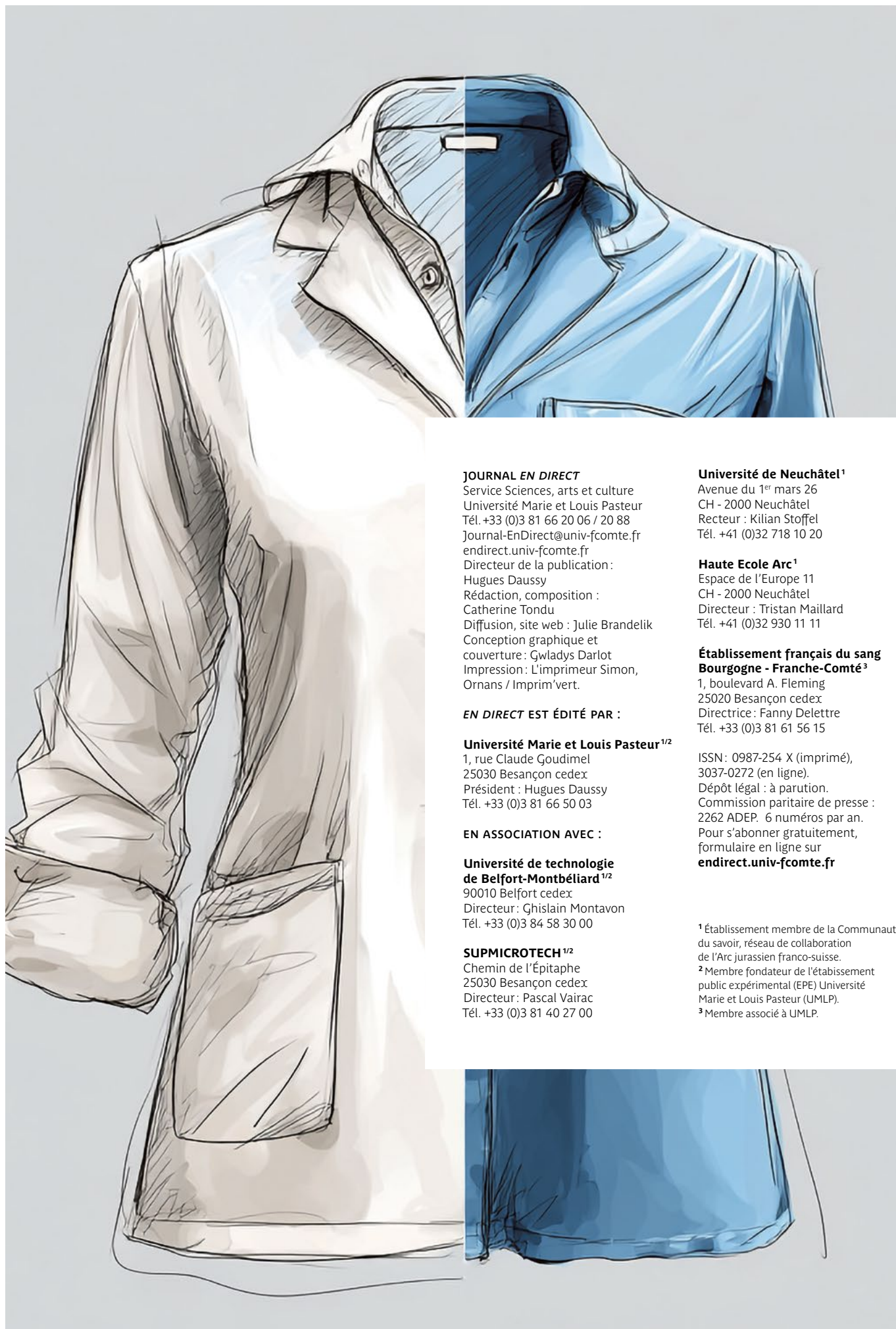
Soins intégrés, nanomédecine,
IA & ingénierie pour la santé
UMLP
Laurent Mourot
Tél. +33 (0)3 63 08 23 24
laurent.mourot@univ-fcomte.fr

UTBM Innovation CRUNCH Lab

Lucas Romary
Tél. +33 (0)3 84 58 33 75
lucas.romary@utbm.fr

Groupe Ingénierie horlogère

Haute Ecole Arc Ingénierie
Florian Serex
Tel. +41 (0)79 206 85 58
florian.serex@he-arc.ch



JOURNAL EN DIRECT

Service Sciences, arts et culture
Université Marie et Louis Pasteur
Tél. +33 (0)3 81 66 20 06 / 20 88
Journal-EnDirect@univ-fcomte.fr
endirect.univ-fcomte.fr

Directeur de la publication :
Hugues Daussy
Rédaction, composition :
Catherine Tondou
Diffusion, site web : Julie Brandelik
Conception graphique et
couverture : Gwladys Darlot
Impression : L'imprimeur Simon,
Ornans / Imprim'vert.

EN DIRECT EST ÉDITÉ PAR :

Université Marie et Louis Pasteur^{1/2}

1, rue Claude Goudimel
25030 Besançon cedex
Président : Hugues Daussy
Tél. +33 (0)3 81 66 50 03

EN ASSOCIATION AVEC :

Université de technologie de Belfort-Montbéliard^{1/2}

90010 Belfort cedex
Directeur : Ghislain Montavon
Tél. +33 (0)3 84 58 30 00

SUPMICROTECH^{1/2}

Chemin de l'Épitaphe
25030 Besançon cedex
Directeur : Pascal Vairac
Tél. +33 (0)3 81 40 27 00

Université de Neuchâtel¹

Avenue du 1^{er} mars 26
CH - 2000 Neuchâtel
Recteur : Kilian Stoffel
Tél. +41 (0)32 718 10 20

Haute Ecole Arc¹

Espace de l'Europe 11
CH - 2000 Neuchâtel
Directeur : Tristan Maillard
Tél. +41 (0)32 930 11 11

Établissement français du sang Bourgogne - Franche-Comté³

1, boulevard A. Fleming
25020 Besançon cedex
Directrice : Fanny Delettre
Tél. +33 (0)3 81 61 56 15

ISSN : 0987-254 X (imprimé),
3037-0272 (en ligne).
Dépôt légal : à parution.
Commission paritaire de presse :
2262 ADEP. 6 numéros par an.
Pour s'abonner gratuitement,
formulaire en ligne sur
endirect.univ-fcomte.fr

¹ Établissement membre de la Communauté
du savoir, réseau de collaboration
de l'Arc jurassien franco-suisse.

² Membre fondateur de l'établissement
public expérimental (EPE) Université
Marie et Louis Pasteur (UMLP).

³ Membre associé à UMLP.