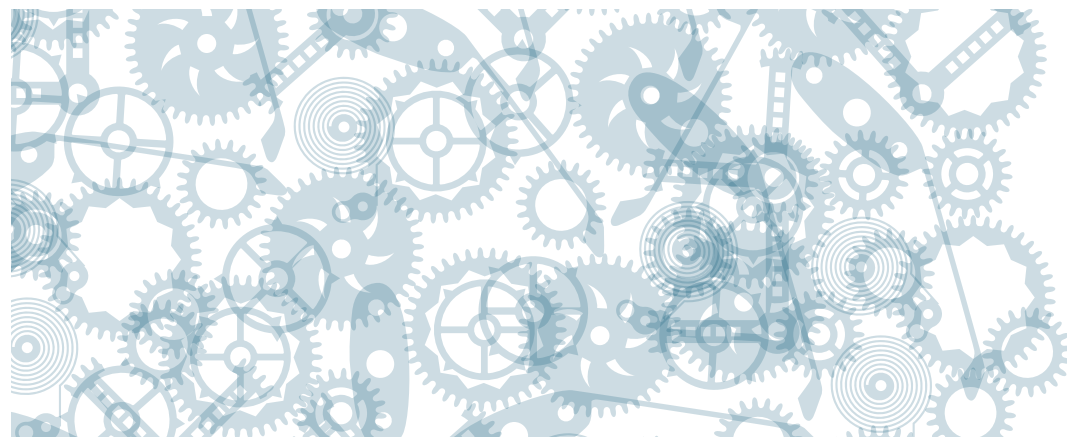


en direct

LE JOURNAL DE LA RECHERCHE ET DU TRANSFERT DE L'ARC JURASSIEN - NUMÉRO 296 - SEPTEMBRE-OCTOBRE 2021



GRAND FORMAT [PETITES ÉCHELLES]

PLATEFORMES TECHNOLOGIQUES ET PROJETS MICROTECHNIQUES

GÉNÉTIQUE PRÉDICTIVE

Anticiper les modifications spontanées de l'ADN

CAPRICES DU TEMPS

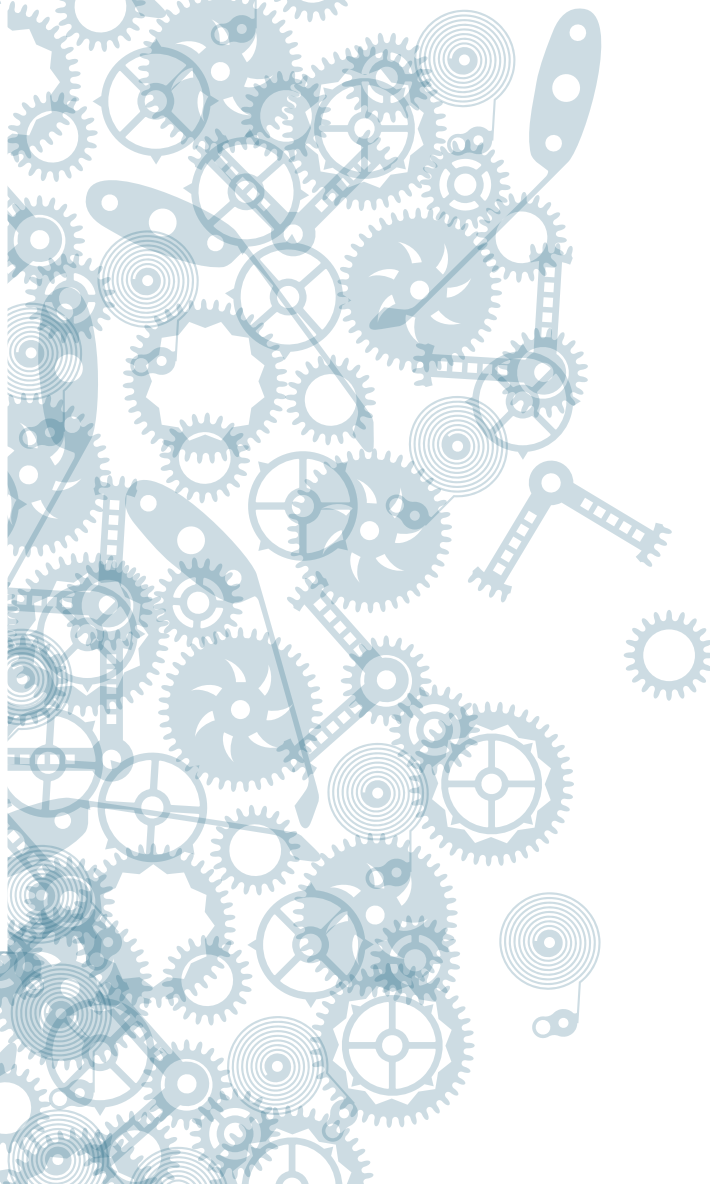
Petit Âge glaciaire et paradoxes climatiques

MÉDECINE TRADITIONNELLE

La Suisse pionnière dans la reconnaissance de l'Ayurveda

HISTOIRE [EN COULISSES]

Théâtres nomades





EN DIRECT

NUMÉRO 296 - SEPTEMBRE-OCTOBRE 2021

3 | ACTUALITÉS

- L'ISIFC : vingt ans de génie biomédical
- La plateforme EPSI fête ses dix ans
- Une collaboration guidée par la fibre environnementale
- Anticiper les modifications spontanées de l'ADN
- Petit Âge glaciaire et paradoxes climatiques
- La Suisse pionnière dans la reconnaissance de l'Ayurveda
- Fruitières jurassiennes et émergence de l'agronomie scientifique
- Protection de l'enfance : considérer la notion de vulnérabilité

12 | OBJET [DE PRESTIGE]

Magie retrouvée pour un *tellurium* du XIX^e siècle

14 | HISTOIRE [EN COULISSES]

Théâtres nomades

16 | GRAND FORMAT [PETITES ÉCHELLES]

Plateformes technologiques et projets microtechniques



BOUGIES D'ANNIVERSAIRE

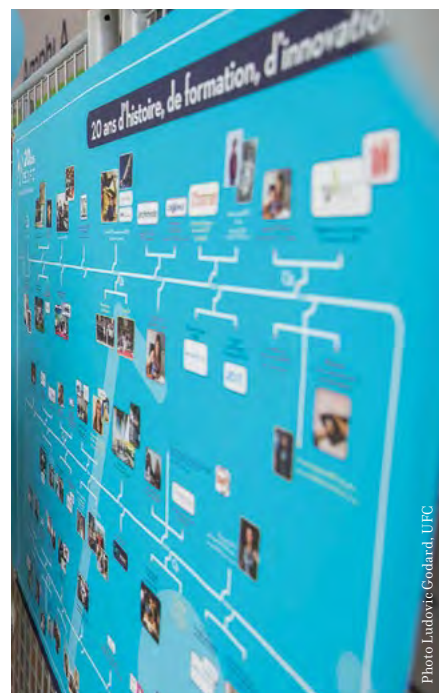
L'ISIFC : VINGT ANS DE GÉNIE BIOMÉDICAL

Combinant de façon originale sciences médicales et sciences pour l'ingénieur, l'ISIFC est la seule école d'ingénieurs française spécialisée dans le dispositif médical (DM). De l'endoscope au lit médical, du pansement à la prothèse de hanche, des lentilles de contact au robot chirurgical, le dispositif médical représente une grande famille faisant interagir de nombreuses technologies avec le domaine de la santé. Mécanique, électronique, informatique, biomatériaux, chimie figurent au nombre des disciplines appliquées à la santé et enseignées à l'ISIFC, auxquelles s'ajoutent des enseignements juridiques.

ÊTRE AU PLUS PROCHE DU TERRAIN

Cette diversification des compétences témoigne de la volonté d'être le plus possible en adéquation avec les besoins des industriels, les possibilités d'apprentissage aussi : outre la formation en ingénieur biomédical suivant un cursus classique, l'ISIFC propose des diplômes d'université (DU) pour les professionnels en exercice. « Chacune des trois années de formation d'ingénieur compte environ cinquante élèves, et 82 % des diplômés exercent un métier correspondant exactement à leur formation, ce qui est très satisfaisant, explique Vincent Armbruster, directeur de l'ISIFC. Mais les industriels ont des besoins en recrutement supérieurs encore, c'est pourquoi nous avons mis sur pied à leur intention les DU Affaires réglementaires, Affaires cliniques et Qualité, tous trois

accessibles en formation continue ». L'école ne cesse de témoigner de son dynamisme depuis sa naissance à l'université de Franche-Comté en 2001 : création d'associations telles que Humabio, pour la fourniture de dispositifs médicaux à des pays en voie de développement ; participation au concours Archimède ; création de l'entreprise universitaire Biotika®, pour la réalisation de projets industriels en situation professionnelle ; mise en place de *War room*, une formation autour des questions de gestion de crise ; organisation de la Rentrée du DM, session de formation annuelle réunissant quelque 400 collaborateurs provenant de 250 entreprises ; création d'un master international en anglais pour les étudiants étrangers, du marathon régional de l'innovation en santé *Hacking Health*, d'une formation en audit d'entreprise... Les repères sont nombreux à jaloner la frise chronologique de l'ISIFC. L'un des prochains concerne la construction d'un nouveau bâtiment à l'horizon 2023. Prévu pour accueillir 300 étudiants, soit le double d'aujourd'hui, doté d'une surface de 2 000 m², il sera financé par l'université, la région Bourgogne - Franche-Comté, Grand Besançon Métropole et le département du Doubs. « Notre objectif est d'augmenter notre capacité d'accueil pour répondre encore mieux aux besoins en recrutement d'un domaine en plein développement. » Plus que l'augmentation des promotions actuelles, l'ouverture d'une nouvelle filière justifie la croissance des effectifs :



« Nous tenons avant toute chose à conserver l'identité familiale qui fonde la philosophie de l'ISIFC et qui constitue l'un de ses atouts depuis sa création ».

Le 11 juin 2021 a marqué le début des festivités anniversaires de l'ISIFC, avec l'organisation d'une conférence-exposition dans les locaux de l'école. Après quelques mots sur les faits marquants de la vie de l'ISIFC depuis sa création, Vincent Armbruster a laissé la parole à Arnaud Runge, diplômé de la première promotion de l'ISIFC et ingénieur à l'Agence Spatiale Européenne (ESA), pour un éclairage original sur le lien entre santé, dispositifs médicaux et espace. Une rediffusion vidéo de cette conférence est disponible sur la chaîne Youtube de l'ISIFC. Une mini-exposition virtuelle interactive à 360° a fait découvrir de manière ludique au public les locaux, les enseignements et quelques rétrospectives. Rendez-vous le 11 septembre pour un nouvel événement en présentiel et une émission de web TV sur la chaîne Youtube de l'ISIFC.

Contact :

ISIFC
Université de Franche-Comté
Vincent Armbruster
Tél. +33 (0)3 81 66 66 90
vincent.armbruster@univ-fcomte.fr

SPORT ET SANTÉ

LA PLATEFORME EPSI FÊTE SES DIX ANS

Sport et santé sont des mots qui vont très bien ensemble, et cette association est la raison d'être d'EPSI depuis dix ans. EPSI, pour Exercice Performance Santé Innovation, est une plateforme technique originale permettant de mesurer notamment les bénéfices de l'activité physique sur la santé. L'être humain est ici considéré dans sa globalité, afin d'étudier comment il est capable de produire le mouvement et en retour comment le mouvement le modifie.

Les équipements d'EPSI viennent en appui scientifique et technique à toute recherche ou formation orientées dans ce sens. Le champ d'investigation est vaste, il concerne aussi bien l'étude des aspects physiologiques ou biomécaniques chez l'être humain que l'expérimentation des innovations technologiques dont celui-ci peut bénéficier, pour la pratique d'un sport de haut niveau comme dans le traitement d'une pathologie.

DES ÉQUIPEMENTS DE PREMIER PLAN

Enseignant-chercheur en physiologie à l'université de Franche-Comté et directeur d'EPSI, Laurent Mourot dresse un bilan très positif de la plateforme à l'occasion de son dixième anniversaire : « La montée en puissance d'EPSI se vérifie dans l'enseignement comme dans la recherche académique, et les partenariats avec l'industrie se multiplient en région aussi bien qu'à l'échelle nationale ou internationale ». Quelques chiffres étayent ce constat. Les dix années passées ont vu EPSI aider les

travaux de 18 doctorants et de 69 étudiants en master, être à l'origine de la publication de 134 articles scientifiques dans des revues internationales à comité de lecture, donner lieu à 70 000 heures de recherche académique et à 4 000 heures en partenariat avec l'industrie, représentant pas moins de 75 projets différents. Les étudiants en sciences du sport, en médecine, en kinésithérapie, en ingénierie médicale viennent à EPSI suivre des cours ou mettre en œuvre des projets tutorés. La plateforme accueille les chercheurs des laboratoires de l'université et les praticiens hospitaliers, ainsi que les volontaires participant à des expériences telles que des évaluations physiologiques ; agréée par l'Agence régionale de santé (ARS), la plateforme assure à tous respect des normes et conditions de sécurité

des centrales nucléaires ; elles donnent également naissance à des partenariats à long terme, comme avec le fabricant suisse Compressport depuis 2013.

PROJET DE *LIVING LAB*

À l'issue de cette première décennie, un nouvel horizon s'ouvre pour EPSI, qui sert d'appui à un projet de *Living Lab* principalement axé sur les questions liées au vieillissement. L'idée est de proposer un lieu ouvert favorisant les échanges entre les praticiens, les chercheurs, les entrepreneurs, les personnes âgées et leurs proches, participant ensemble à élaborer des solutions pour répondre aux problèmes spécifiques que pose l'avancée en âge. Une préoccupation majeure pour les animateurs de la plateforme EPSI.



optimales. Les collaborations avec l'industrie s'engagent ponctuellement le temps d'un projet, comme cette étude menée avec EDF pour évaluer les tenues des employés travaillant dans l'atmosphère surchauffée

Contact :
Plateforme EPSI
Université de Franche-Comté
Laurent Mourot
Tél. +33 (0)3 63 08 23 21
laurent.mourot@univ-fcomte.fr

PARTENARIAT INDUSTRIEL

UNE COLLABORATION GUIDÉE
PAR LA FIBRE ENVIRONNEMENTALE

Métaux, fluorures, sels, substances organiques..., les rejets liés à l'industrie du traitement de surface sont une préoccupation environnementale de premier plan en Bourgogne - Franche-Comté. Cette question intéresse les chercheurs autant que les industriels, qui unissent leurs efforts dans des partenariats tels que celui qui, depuis quinze ans, lie le laboratoire Chrono-environnement et la PME haut-saônoise SILAC (groupe Emeraude Participation). Une collaboration fructueuse et un engagement sur la durée qui sont de bonnes raisons d'en établir le bilan : c'est chose faite avec l'organisation d'une journée d'études à Champlitte en juin dernier, actant les résultats obtenus depuis 2006 et qui a réuni universitaires, industriels, représentants d'agences environnementales, élus politiques et membres de la société civile.

les fluorures sont mesurés à 165 kg par an contre 570 kg auparavant, et ce chiffre est bien en-deçà de la norme actuelle de 342 kg par an, plus exigeante que par le passé ; les teneurs en aluminium approchent 11 kg par an, quand les directives tolèrent jusqu'à 114 kg. La baisse des volumes et l'amélioration de la qualité des rejets, avec l'élimination progressive des substances dangereuses qui les composent, font partie des défis que relève le consortium au fil des années. L'objectif de diminuer les prélèvements en eau est également atteint, avec des besoins aujourd'hui réduits à 70 m³ par jour (contre 107 m³ autorisés).

Au cœur des processus : la station d'épuration de l'entreprise, dont les chercheurs savent améliorer les performances, pour le bien de l'environnement comme pour les coûts de fonctionnement.

« Les stations d'épuration sont des systèmes agissant de manière immuable, qui ne peuvent pas prendre en compte les variations de volume et de nature des substances présentes dans les eaux à traiter, elles-mêmes dépendantes des mouvements de production de l'entreprise », explique Grégorio Crini, ingénieur de

recherche en chimie et artisan de la collaboration avec SILAC. En jouant sur différents leviers physico-chimiques, les chercheurs rendent possible l'adapta-

bilité de la station pour une plus grande efficacité des procédés de traitement des eaux usées, des améliorations dont la pertinence est validée par les résultats obtenus.

Outre son intérêt environnemental et économique, le transfert des expériences de laboratoire vers des solutions industrielles est l'occasion pour les étudiants du master Sciences de l'eau, et plus particulièrement du parcours QuEST (qualité des eaux, des sols et traitements) de se frotter à la réalité du terrain. En quinze ans, le partenariat a donné lieu à la réalisation de treize stages en entreprise, de cinq thèses et de trois recherches post-doctorales, et à l'embauche de deux diplômés du master en CDI chez SILAC.

« Recherche et formation se font sur un site grandeur nature qui nous a ouvert ses portes en toute confiance réciproque » souligne Nadia Morin-Crini, ingénieure de recherche en chimie analytique et coresponsable du projet.

La collaboration se poursuit, bénéficiant toujours de nouvelles avancées scientifiques. Au laboratoire Chrono-environnement, le dernier projet en date concernant le traitement des eaux usées est centré sur la mise au point d'une technologie à base de filtres de chanvre. Financé par la Région, il est mené en collaboration avec une coopérative agricole locale, les instituts FEMTO-ST et UTINAM, ainsi qu'avec d'autres équipes de recherche en France et en Europe.



Le Salon à Champlitte (70), photo MClerc, Wikimedia Commons

INDICATEURS AU VERT

Les indicateurs passent au vert pour le Salon, affluent de la Saône dans lequel se déversent les rejets :

Contacts :

Laboratoire Chrono-environnement
Université de Franche-Comté / CNRS
Nadia Morin-Crini / Grégorio Crini
Tél. + 33 (0) 81 66 57 86 / 57 01
nadia.crini@univ-fcomte.fr
gregorio.crini@univ-fcomte.fr

GÉNÉTIQUE PRÉDICTIVE

ANTICIPER LES MODIFICATIONS SPONTANÉES DE L'ADN

La mise en contexte de cette étude scientifique pourrait avoir des allures de jeu vidéo : un champignon, responsable de la septoriose du blé, une maladie ravageant 5 à 10 % des récoltes de blé chaque année rien qu'en Europe, réussit à déjouer les contre-attaques des pesticides successifs qui lui sont opposés. Comment ? Par des réarrangements de sa séquence d'ADN intervenant lors de sa reproduction sexuée, qui le rendent résistant aux attaques chimiques et toujours plus dévastateur.



Septoriose du blé © INRAE - Christian Slagmulder

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE AU SERVICE DE LA GÉNÉTIQUE

Les chercheurs du laboratoire de génétique évolutive de l'université de Neuchâtel ont réussi à trouver une parade en anticipant les modifications spontanées de l'ADN du champignon. Une prouesse réalisée grâce aux apports du *machine learning*, une méthode d'intelligence artificielle pour la première fois convoquée dans le domaine de la génétique. « Une trentaine de caractéristiques chromosomiques susceptibles d'être à l'origine de réarrangements de l'ADN lors de générations futures ont été recueillies sur la base de plusieurs individus du champignon, puis soumises à un programme informatique », expliquent Daniel Croll, directeur du laboratoire, et Thomas Badet, post-doctorant en charge de l'étude. « Après le processus d'apprentissage, le

programme était capable, à partir d'un génome donné, de prédire avec précision où se trouveraient ces réarrangements ». Les prédictions avancées par intelligence artificielle ont été confirmées à 99 % par l'étude des changements spontanés d'ADN survenus lors de croisements successifs du champignon en laboratoire.

La méthode a ensuite été transposée à l'étude de l'ADN de l'arabette, une plante bien connue sur les paillasse, cette fois en interrogeant le programme informatique sur les changements possibles de l'ADN chez un spécimen pris au hasard, et non issu d'une lignée : le programme a pu prédire 74 % des réarrangements chromosomiques identifiés par les analyses biologiques. Ces résultats spectaculaires laissent envisager des applications en dehors du champ de la biologie végétale. Selon les spécialistes, la méthode pourrait

s'adapter à la détection des transformations de l'ADN lors de la multiplication des cellules dans l'organisme humain, un phénomène souvent responsable de la survenue de maladies génétiques et de cancers. Une perspective séduisante pour la médecine, qui exige cependant de connaître parfaitement le génome humain, à l'instar de celui des champignons ou des végétaux objets de cette étude. Cette condition garante de la fiabilité d'une prédiction par intelligence artificielle n'est pour l'instant pas remplie, même si la science a déjà permis de décoder une grande partie du génome humain.

Contacts :
Laboratoire de génétique évolutive
Université de Neuchâtel
Daniel Croll / Thomas Badet
Tél. +41 (0)32 718 23 30 / 23 48
daniel.croll@unine.ch
thomas.badet@unine.ch

CAPRICES DU TEMPS

PETIT ÂGE GLACIAIRE
ET PARADOXES CLIMATIQUES

Patineurs sur la Seine en 1608. Scène de la vie quotidienne des Parisiens pendant le « Grand Hiver » de 1607-1608, au cours duquel la Seine fut gelée pendant plusieurs semaines. Auteur inconnu. Collection Musée Carnavalet.

Les scénarios du changement climatique alertent sur le réchauffement de la planète et attirent aussi l'attention sur un possible revirement

de situation, synonyme de grand froid : par un ricochet spectaculaire et paradoxal, la fonte des glaces arctiques pourrait produire un refroidissement du *Gulf Stream*, entraînant une chute brutale des

températures en Europe. L'étude du Petit Âge glaciaire, une longue période courant du XIV^e siècle à la fin du XIX^e siècle, est à ce titre d'un intérêt majeur, apportant des éléments de réponse concernant l'impact des changements climatiques sur les sociétés, et servant de point d'appui pour élaborer des projections d'avenir.

Mercredi 23 janvier 1709

« La continuation du grand froid et les voyages de Versailles ont obligé de donner relâche au théâtre depuis le lundy 14 jusques à aujourd'huy. »

*Grand hiver de 1709
Archives de la Comédie-Française*

C'est là le cœur d'un projet engagé depuis avril dernier et pour trois ans entre le laboratoire Chrono-

environnement de l'université de Franche-Comté et les prestigieuses universités MIT et Harvard aux États-Unis¹. Le projet est coordonné côté français par Emmanuel Garnier, directeur de recherche CNRS en histoire du climat, et bénéficie de l'appui logistique de la MSHE.

Richement dotée en archives, symbole rêvé pour des collaborateurs américains francophiles, Paris est la ville retenue pour être le théâtre des investigations.

Les archives municipales de la capitale et, plus étonnant, celles de la Comédie française, constituent le socle documentaire de base. « Les dossiers de ce haut lieu du théâtre parisien

mentionnent les annulations de spectacles et les événements, comme les aléas climatiques, qui en sont responsables », explique Emmanuel Garnier.

Grands froids, inondations, tempêtes sont consignés et avec eux leur influence sur la vie parisienne. Ces épisodes climatiques extrêmes, les conséquences économiques et sociales qui les accompagnent, les catastrophes qui les suivent, disettes, famines, épidémies, sont détaillés dans les comptes-rendus municipaux ainsi que dans les récits écrits par des bourgeois de la capitale, une autre source riche en enseignements.

« Avant le XVIII^e siècle, les variations du climat étaient essentiellement expliquées par des mots, mais des méthodes scientifiques permettent aujourd'hui d'attribuer des

¹ MIT School of Humanities Arts and Social Sciences ; Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences / Department of History of Harvard University.

valeurs de température à ces indices descriptifs ; les informations recueillies peuvent ainsi entrer en comparaison avec les enregistrements réalisés par la suite grâce à des instruments. »

Au XIV^e siècle, le Petit Âge glaciaire débute par un refroidissement sensationnel, de l'ordre de 1,5 °C en un demi-siècle.

Il connaît ensuite, en dépit de son nom, des épisodes de forte chaleur et de sécheresse, très localisés. Il faut attendre la fin du XIX^e siècle pour que cette période s'achève : l'hiver 1880 voit encore la Seine geler... Le réchauffement arrive progressivement, une consé-

« Vers la fin du mois d'août ; faisait si grande chaleur de jour et de nuit, que homme ni femme ne pouvait dormir la nuit, et avec ce était très grande la mortalité d'épidémie. »

*Canicule du mois d'août 1418
Journal d'un bourgeois
de Paris*

quence naturelle du rythme et de l'imbrication des cycles climatiques, amplifiée par une pression anthropique de plus en plus forte. Mieux percevoir les variations du climat et leurs impacts donnera à partir de l'exemple parisien des éléments d'appréciation de la résilience des systèmes économiques et sociaux lors du Petit Âge glaciaire. Ces connaissances aideront à établir des projections pour le futur, tenant compte des théories suggérant la possibilité d'un refroidissement brutal à l'échelle de l'Europe dans le contexte de changement climatique actuel.

MÉDECINE TRADITIONNELLE

LA SUISSE PIONNIÈRE DANS LA RECONNAISSANCE DE L'AYURVEDA

Puisant ses racines dans des textes indiens datant de plus de 4 000 ans, l'Ayurveda est une pratique médicale considérant l'homme dans sa globalité, jugeant le corps et l'esprit indissociables. Aujourd'hui admise comme médecine à part entière en Inde où elle est largement répandue, cette science de la longévité fait des émules dans de nombreux pays. Mais sa pratique se limite pour l'essentiel au domaine du bien-être et de la relaxation, faute d'une reconnaissance à titre de médecine par les institutions officielles. Dans ce contexte, la Suisse apparaît comme une exception, avec la mise en place de deux diplômes fédéraux de médecine ayurvédique en 2015. Ce mouvement de professionnalisation pourrait devenir un modèle pour la reconnaissance de la pratique médicale de l'Ayurveda en Europe et dans le monde, un modèle d'ores et déjà reconnu par le gouvernement indien. Ce courant pionnier fait l'objet d'une thèse en anthropologie de la santé développée par Aline Sigrist, que la jeune chercheuse a soutenue en juin dernier à l'université de Neuchâtel.

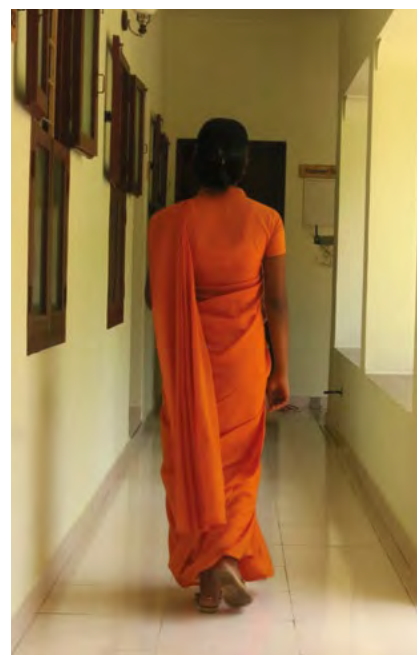
UN MODÈLE RECONNU PAR LE GOUVERNEMENT INDIEN

En 2009, une votation citoyenne favorable permettait d'inscrire les médecines complémentaires dans la Constitution suisse, rendant possible leur professionnalisation et leur enseignement dans les facultés de médecine de

l'ensemble du pays ; paru en 2017, un article de loi acte quant à lui le remboursement de la médecine anthroposophique, de l'homéopathie, de la phytothérapie et de la médecine traditionnelle chinoise par l'assurance maladie de base. « L'Ayurveda bénéficie de ces évolutions, et si pour l'instant le remboursement des frais médicaux n'est assuré que par les assurances complémentaires, les praticiens espèrent qu'à terme, ils seront eux aussi pris en charge par l'assurance de base, pour une plus grande reconnaissance médicale et institutionnelle », explique Aline Sigrist.

MÉDECINE DOUCE ET RÉBELLION

Médecines douces et naturopathie font de longue date partie du paysage de la santé en Suisse.



Contact :
Laboratoire Chrono-environnement
Université de Franche-Comté / CNRS
Emmanuel Garnier
emmanuel.garnier@univ-fcomte.fr



Photos Aline Sigris

Le Maharishi Mahesh Yogi, fondateur de la méditation transcendante, n'est pas étranger au développement de cette sensibilité : au cours des années 1970, le célèbre gourou des Beatles s'installe en Suisse, où il fonde

temps aux contextes sociaux, législatifs et politiques successifs. »

En Suisse comme dans d'autres pays européens, l'Ayurveda voit ses principes assouplis afin de les rendre compatibles avec la façon

en 1987 la première clinique appliquant les préceptes de l'Ayurveda en Suisse. En Inde, la médecine ayurvédique est réhabilitée dès l'indépendance du pays, après avoir été interdite pendant près de deux siècles de domination anglaise. « Cette pratique est ancestrale, mais elle est aussi en évolution permanente. Elle s'adapte à travers le

de vivre et l'état d'esprit occidentaux, si différents de la culture hindoue. Cependant sa philosophie s'accorde avec un certain mouvement de rejet des valeurs néolibérales, et en même temps avec la tendance actuelle à considérer la santé comme relevant de la responsabilité de chacun. « L'Ayurveda entre en adéquation avec les valeurs contemporaines, y compris l'individualisme, parce qu'il propose de se centrer sur soi. Sa pratique offre de multiples réponses en termes de santé et de société, pour des êtres humains non seulement en quête de soins, mais aussi de sens, et de soi. » Aline Sigris a pour les besoins de sa recherche interviewé des patients ayant suivi une cure ayurvédique en Inde ou en Suisse, elle a également réalisé une analyse auto-ethnographique de sa propre expérience de cure dans un centre en Inde.

Contact :
Institut d'ethnologie
Université de Neuchâtel
Aline Sigris
aline.sigrist@gmail.com

PUBLICATION

FRUITIÈRES JURASSIENNES ET ÉMERGENCE DE L'AGRONOMIE SCIENTIFIQUE

Entre 1800 et 1880, le nombre de fruitières augmente de plus de 70 % dans l'Arc jurassien franco-suisse, passant de 700 à 1 200 établissements. Lieu de production des fromages locaux, structure juridique de type coopératif si typique de la région, la fruitière est un bon exemple de l'évolution des pratiques laitières depuis la fin du XVIII^e siècle jusqu'à la Première Guerre mondiale. Elle est l'angle qu'a choisi d'exploiter Fabien Knittel,

enseignant-chercheur à l'université de Franche-Comté / Centre Lucien Febvre, pour comprendre le cheminement mené en parallèle par le métier d'agronome, une analyse qu'il restitue dans l'ouvrage *Agronomie et techniques laitières*. « Vers la fin du XIX^e siècle, on assiste à une

accélération de la scolarisation des apprentissages des futurs fruitiers, qui deviennent des techniciens. L'ENIL de Mamirolle est fondée en 1888, l'école de fromagerie de Poligny l'année suivante, en lien direct avec les discours des agronomes sur



le lait et ses transformations. » L'industrialisation de la fabrication du fromage s'accroît à la même période, favorisant l'essor du machinisme. Scolarisation et industrialisation vont de pair et veulent répondre à une crise agricole provoquant la chute des prix du lait. Ce double mouvement est propice aux transferts techniques, qui jusqu'alors se limitaient à la transmission des gestes du savoir-faire entre maître fruitier et apprenti, au sein de la coopérative.

« Si les agronomes se sont placés en observateurs des pratiques paysannes, qu'ils ont souvent jugées sévèrement pour leur caractère routinier alors qu'eux-mêmes encourageaient l'innovation et le progrès agricole, en réalité la circulation des idées et des savoir-faire entre praticiens et savants était bien plus complexe qu'une prise de position systématique et caricaturale. »

Au cours de cette période s'étirant sur plus d'un siècle et après avoir été le fait de spécialistes aux compétences très diverses, du biochimiste au marchand de bestiaux, l'agronomie se structure peu à peu comme discipline scientifique ; l'enseignement se professionnalise et c'est en 1893 que le métier d'agronome est reconnu par un diplôme d'ingénieur spécifique.

« L'agronomie s'est construite comme un ensemble de savoirs scientifiques hybrides, à proximité de la médecine vétérinaire, de la zootechnie, de l'hygiénisme, de la chimie et de la microbiologie pastorienne. » Une dynamique mise en valeur par l'étude de cas que constituent les fruitières jurassiennes.

Knittel F., *Agronomie et techniques laitières. Le cas des fruitières de l'Arc jurassien (1790-1914)*, Classiques Garnier, 2021

PUBLICATION

PROTECTION DE L'ENFANCE :
CONSIDÉRER LA NOTION
DE VULNÉRABILITÉ

La protection de l'enfance dans nos sociétés sous-tend de pointer le doigt sur les mauvaises conditions de vie que les enfants subissent et sur les défaillances des familles dans lesquelles ils grandissent. Sans nier certaines réalités, étudier les situations au prisme de la vulnérabilité signifie les envisager sous un autre regard, prenant en compte les capacités des familles et considérant les environnements dans lesquels elles évoluent. Cet éclairage fait l'objet de l'ouvrage *Enfants et familles vulnérables en*

protection de l'enfance, codirigé par Michel Boutanquoi et Carl Lacharité, tous deux professeurs de psychologie, respectivement à l'université de Franche-Comté et à l'université Québec Trois-Rivières. La vulnérabilité est une notion récente en sciences humaines et sociales, et à ce titre suscite un certain débat. Il est ici question de la « vulnérabilité fondamentale », celle qui, inhérente à la condition humaine, postule que l'individu est dépendant des autres, de leur présence, de leur attention, et que c'est précisément ce soutien bienveillant qui le conduira sur la voie de l'autonomie. Il est aussi question de la « vulnérabilité problématique », qui soumet à domination les personnes et les familles dont la parole ou le champ d'action sont réduits, par exemple parce qu'elles vivent dans la précarité ou sont mal

intégrées à la société. C'est partant de ces définitions que les auteurs suggèrent de s'emparer de la notion de vulnérabilité, non pas tant pour jauger une situation familiale difficile, voire dangereuse, mais comme « un moyen de repenser les fragilités, les liens, les solidarités et les démocraties », dans un contexte contemporain où la cohésion sociale peut faire défaut. Considérer la vulnérabilité sous ces angles de vue amène à inciter à la participation des enfants et des parents, afin qu'ils puissent devenir de vrais

acteurs de la réflexion. Leur implication, telle qu'elle est aujourd'hui sollicitée dans la pratique pour tenter de résoudre les problèmes, les inscrit dans une relation de subordination vis-à-vis des professionnels de la protection de l'enfance, qui peut renforcer leur sentiment de ne pas avoir de contrôle sur leur vie et sur leur devenir. Si le propos des auteurs n'est en aucun cas de remettre en cause l'expertise et l'engagement de praticiens méritants, il suggère de prendre conscience de ce déséquilibre et de considérer les expériences vécues d'une manière qui permette aux enfants et aux parents de réfléchir, avec les professionnels, aux projets les concernant.

Boutanquoi M., Lacharité C., *Enfants et familles vulnérables en protection de l'enfance*, PUF, 2020





Photos Tobias Schenkel, HE-Arc

Pouvoir observer le mouvement des planètes autour du Soleil est un rêve que les horlogers ont mis à la portée de tous en créant des planétaires, des représentations animées du système solaire. Ce *tellurium* du début du XIX^e siècle est un bijou technique et artistique qu'une équipe de la Haute Ecole Arc vient de restaurer, dans le plus grand respect de la création originale.

OBJET [DE PRESTIGE]

MAGIE RETROUVÉE POUR UN TELLURIUM DU XIX^e SIÈCLE

Objet astronomique
avant tout,
le *tellurium* est
aussi un système
mécanique
complexe, comptant
cinq complications
horlogères différentes

Les planétaires sont des dispositifs mécaniques animés représentant tout ou partie du système solaire en 3D. À l'intérieur de cette famille d'objets dont le prestige le dispute à l'intérêt pédagogique, le *tellurium*, du latin *tellus*, la Terre, concerne les mouvements de la seule planète Terre autour du Soleil, éventuellement accompagnée de son satellite, la Lune, comme c'est le cas du *tellurium* créé au début du XIX^e siècle par un horloger de La Chaux-de-Fonds, François Ducommun (1767-1837). Présenté au musée d'Art et d'histoire de Neuchâtel à partir de 1923 après avoir fait partie d'une collection privée, l'objet est retiré des vitrines après plusieurs décennies d'exposition, en raison des dommages que lui ont infligé le temps et de multiples manipulations. Il a été confié aux bons soins de spé-

cialistes de la Haute Ecole Arc Conservation-restauration, qui depuis plusieurs mois assurent sa remise en état dans le respect de sa conception originelle. Une mission passionnante, placée sous la responsabilité de Tobias Schenkel, et un cas d'école pour les étudiants du master Objets scientifiques, techniques et horlogers.

SUIVRE LE MOUVEMENT DES ASTRES

Objet astronomique avant tout, le *tellurium* est aussi un système mécanique complexe, comptant cinq complications horlogères différentes. Il est abrité dans un globe évoquant la sphère céleste, s'ouvrant en deux le long de son diamètre horizontal, d'une cinquantaine de centimètres. Le retrait du « couvercle » laisse apparaître le dispositif, installé au fond de la demi-sphère inférieure. Le mécanisme horloger est chapeauté par les éléments qu'il est

chargé d'animer. Une impulsion mécanique entraîne axes, roues et pignons pour mettre en scène les mouvements des astres dans une fascinante chorégraphie. Au centre, une boule de laiton brillante figure sans équivoque le Soleil, malgré une dimension bien inférieure à celle de la Terre, placée comme il se doit en orbite autour de lui, et qui tourne également sur son axe de rotation incliné. Faite d'ivoire, la Lune tourne à l'intérieur d'une demi-coque en laiton noirci, laissant apparaître successivement ses quartiers et sa face pleine, ou la faisant disparaître, en fonction de sa révolution autour de la Terre. Si les proportions et les distances ne peuvent évidemment être respectées dans une telle représentation miniature, les angles le sont, et l'animation du dispositif est explicite, montrant la révolution de la Terre autour du Soleil, les phases de la Lune, ses positions ascendante ou descendante, racontant les saisons, les éclipses, les constellations...

Les mois de l'année et les signes du zodiaque sont inscrits sur la lunette cerclant la demi-sphère, et les heures sont indiquées sur un cadran placé à l'extérieur : les positions et mouvements des astres s'affichent en fonction du calendrier, un système à remettre à jour tous les quatre ans pour tenir compte des années bissextiles. « À l'origine, le dispositif était commandé par une manivelle placée sur le cadran, explique Tobias Schenkel. Dans les années 1960, le *tellurium* a été équipé d'un moteur électrique, et un bouton de commande a remplacé la manivelle. L'idée était de restaurer l'objet selon cette configuration. Mais après restauration du mécanisme et remise en état du moteur, le *tellurium* tournait à une vitesse trop grande, ce qui n'était pas agréable à observer et surtout problématique du point de vue de l'usure du mécanisme ». L'équipe a donc

proposé à M. Lüscher, conservateur du musée, de privilégier une remise en fonction purement mécanique, telle que conçue au départ par François Ducommun. Toutes les pièces retirées ou ajoutées lors de cette opération ont fait l'objet d'un inventaire et marquage scrupuleux. Des plans ont été réalisés et des photographies prises pour conserver la mémoire de la version motorisée. « Il est fondamental de conserver la trace des évolutions que le *tellurium* a connues et de pouvoir témoigner des restaurations passées. » Le mécanisme horloger a retrouvé sa place au fond de la sphère, dont il avait été surélevé pour pouvoir installer le moteur, et le Soleil a retrouvé sa position d'origine au milieu de la sphère céleste. Des modifications tout sauf anodines pour le fonctionnement d'un dispositif aussi précis.

RESTAURATION DE A À Z

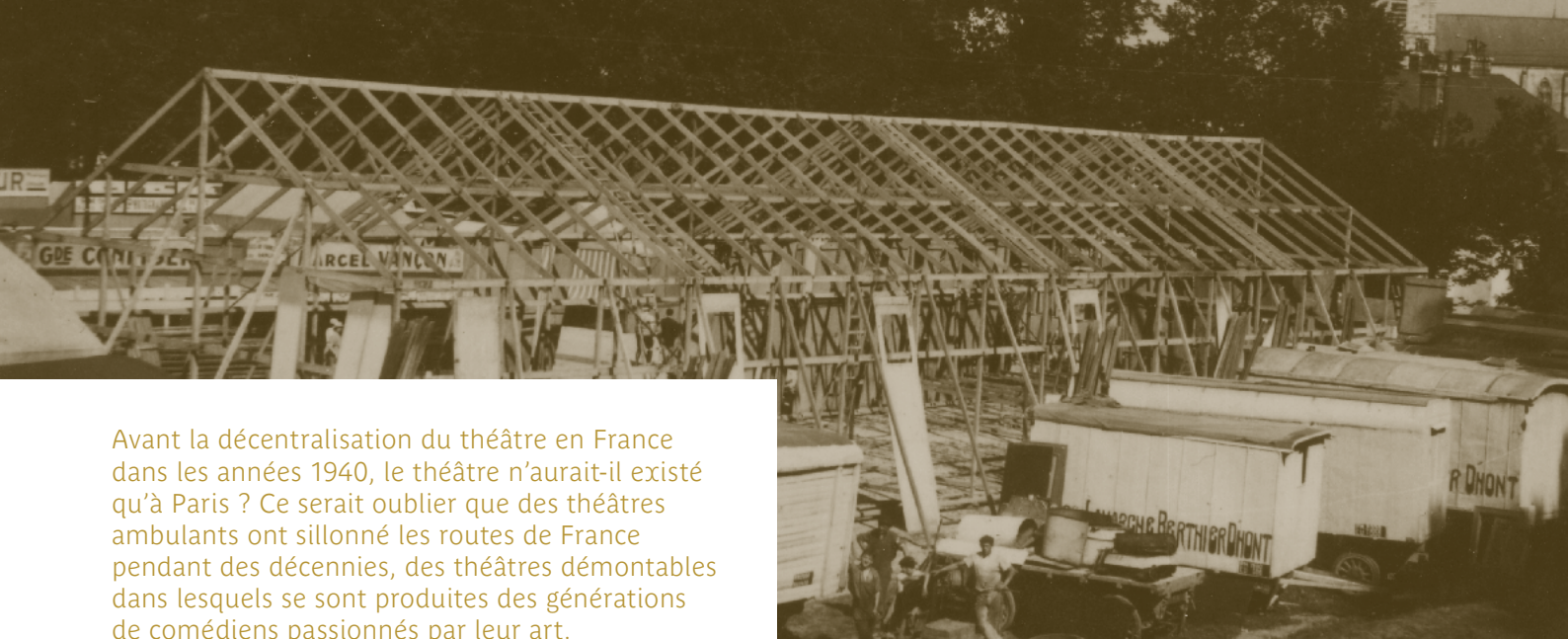
La restauration engagée concerne toutes les pièces composant le *tellurium* : réfection du mécanisme horloger avec des pièces et selon le savoir-faire de l'époque, nettoyage des éléments en laiton ternis par le temps, restauration du papier habillant la Terre de ses continents et océans... Le vernis jauni sur la sphère bleue a été retiré, et après comblement des lacunes et retouches, l'ensemble de la surface extérieure a fait l'objet d'un nouveau vernissage. « Du réglage des pièces d'horlogerie à la reprise des surfaces vernies, cet objet concentre tout ce que nous sommes amenés à étudier dans le cadre de notre formation », remarque Étienne von Gunten, étudiant en master. Et le travail ne s'arrête pas là : il s'agit à présent d'organiser le retour du *tellurium* dans les vitrines du musée. Avec une particularité : le public pourra à nouveau actionner le mécanisme à l'aide d'une

manivelle pour mettre en œuvre et suivre les mouvements de la Terre et de la Lune, depuis l'extérieur de la vitrine. Pour éviter que le mouvement d'horlogerie soit sollicité d'une façon trop intense, un système à embrayage assure la sécurité du mécanisme.

La mise en valeur de l'objet représente un autre challenge. Il s'agit de montrer le mécanisme sans pour autant amputer la sphère de sa moitié supérieure. La solution retenue est la mise en suspension de ce « couvercle » grâce à trois fils invisibles, dont la capacité en termes de poids et de résistance a soigneusement été étudiée. Le travail a été mené en concertation permanente avec l'équipe du musée neuchâtelois, qui a fourni de nombreux documents d'époque utiles à une restauration fidèle à la création de François Ducommun. Le *tellurium* pourra prochainement à nouveau être admiré au musée. Il est l'un des chefs d'œuvre scientifiques et artistiques nés de l'essor combiné des techniques en horlogerie et des connaissances en astronomie de l'époque.



Contact :
Haute école Arc Conservation-restauration
Tobias Schenkel
Tél. +41 (0)32 930 19 34
tobias.schenkel@he-arc.ch



Avant la décentralisation du théâtre en France dans les années 1940, le théâtre n'aurait-il existé qu'à Paris ? Ce serait oublier que des théâtres ambulants ont sillonné les routes de France pendant des décennies, des théâtres démontables dans lesquels se sont produites des générations de comédiens passionnés par leur art.

HISTOIRE [EN COULISSES]

THÉÂTRES NOMADES

Les théâtres démontables abritaient des décors parfois imposants, dotés de systèmes ingénieux pour les besoins de la mise en scène, et pouvaient accueillir des centaines de spectateurs

Imaginez une troupe de comédiens se déplaçant d'une ville à une autre, montant, démontant son théâtre de bois sur la place principale puis l'installant à nouveau, ailleurs... Imaginez le spectacle au cœur du quotidien, les tirades des acteurs et la joie du public. Imaginez car

cette époque est révolue, elle ne subsiste plus guère que dans certaines mémoires. Le théâtre ambulant a pourtant bel et bien existé, il a fait frémir et rire dans tout le pays bien avant que la décentralisation du théâtre en France, dans les années 1940, encourage la diffusion théâtrale et autorise les pièces du répertoire à sortir des scènes parisiennes pour être jouées en province.

Peu de gens soupçonnent l'existence du théâtre ambulant en France, et encore moins son importance. C'est au hasard d'une rencontre avec l'un des derniers témoins de ce passé que Loli Jean-Baptiste en fait la découverte, et qu'elle décide d'y consacrer son mémoire de master puis sa thèse en arts du spectacle. « On ne reverra jamais un théâtre aussi populaire, j'ai voulu l'étudier pour en garder la trace et pour montrer qu'il fait

pleinement partie de l'histoire du théâtre en France. »

DES RÉPERTOIRES CONSIDÉRABLES

La jeune chercheuse puise dans les rares sources documentaires disponibles, et surtout recueille les témoignages de descendants des hommes et des femmes qui ont fait vivre ce théâtre, réunissant au fil de ses investigations des documents d'époque qui souvent ne sont jamais sortis des archives familiales. Car il s'agit bien ici d'une histoire de famille, un schéma un peu comparable à celui qui prévaut dans le monde du cirque. Des familles entières se consacrant au théâtre, et dont chaque membre avait un ou plusieurs rôles à jouer, de la confection des costumes à la réalisation des décors, de la tenue de la billetterie à la gestion de l'entreprise, de l'accompagnement musical au jeu théâtral proprement dit. Mélodrames, comédies, voire tragédies, les pièces jouées sont toutes signées par des romanciers ou des dramaturges. « Dans les troupes, on était acteur, pas écrivain, ni metteur en scène. Mais le montage des pièces était très construit, et

l'exigence était la règle pour l'apprentissage des textes et du jeu. » Les acteurs avaient la maîtrise d'un répertoire impressionnant, leur donnant la possibilité de jouer une pièce différente chaque soir, pendant plusieurs semaines d'affilée. Les théâtres démontables abritaient des décors parfois imposants, dotés de systèmes ingénieux pour les besoins de la mise en scène ; ils pouvaient accueillir des centaines de spectateurs, et certains auraient supporté la comparaison avec la jauge des théâtres de ville actuels. « L'installation du théâtre ambulant était un véritable événement, rapporte Loli Jean-Baptiste. Les gens pouvaient faire plusieurs kilomètres à pied dans la neige depuis les villages voisins pour assister aux représentations ».

Selon le comédien Maurice Durozier, dont l'enfance a été baignée par les récits familiaux, « le théâtre à l'époque fonctionnait très bien, c'était le seul moyen de divertissement en dehors du cirque. Le cinéma est ensuite apparu, puis la télévision, et avec elle l'avènement de nouveaux comportements, le désir de confort et le repli sur soi au détriment du sens de la communauté. » Des changements sociologiques auxquels s'ajoutent la difficulté croissante d'investir le centre des villes, en plein développement, et l'impossibilité pour des structures en bois de répondre aux normes de sécurité naissantes. Le milieu des années 1960 marque la fin du théâtre ambulant démontable, né dans les provinces de France dès le début du XIX^e siècle, et arrivé à son apogée dans les années 1930.

Selon les recherches de Loli Jean-Baptiste, si deux cents familles itinérantes se seraient produites de génération en génération au cours de ces deux siècles en France, une trentaine de troupes se sont démarquées par l'ampleur de leur entreprise, telles les familles Lamarche, de Blasiis ou Creteur-Cavalier. Leur installation pendant plusieurs

L'ESPRIT DU VOYAGE

« Mon arrière-arrière-grand-père aurait été trouvé abandonné au pied d'un rosier, ce serait là l'origine du nom de ma famille », raconte Maurice Durozier, héritier de quatre générations d'acteurs nomades, et lui-même comédien au Théâtre du Soleil à Paris. « J'avais seulement deux ans quand mon grand-père a décidé d'arrêter l'activité de son théâtre, mais on m'a raconté beaucoup d'anecdotes sur la vie d'alors. L'esprit du voyage se perpétue dans une famille, je crois que c'est une autre façon de voir le monde qui reste ancrée en nous, même devenus sédentaires. » L'homme raconte son enfance dans une roulotte, sa mère Roxane, éprise de liberté et de justice, artiste convertie sans amertume en ouvrière d'usine lors du déclin du théâtre familial, son oncle André, s'acharnant à donner des représentations jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de public pour les applaudir, son grand-père conduisant sans permis, le partage de la recette entre les membres de la troupe... « Le monde né ensuite était moins tolérant envers la marginalité et les gens du voyage. » Changement d'époque, évolution des sociétés... la vie artistique continue, autrement. Mais le théâtre ambulant démontable mérite de trouver sa place dans l'histoire du théâtre en France. Guy Freixe, professeur en histoire et esthétique des arts de la scène à l'université de Franche-Comté, est le directeur de thèse de Loli Jean-Baptiste : « Ce travail de recherche participe à un mouvement de reconsidération de notre histoire théâtrale, qui veut comprendre le déni entourant certaines réalités telles que celle du théâtre ambulant ».

semaines dans un même lieu et le retour régulier en des endroits où elles savaient recueillir la faveur du public autorisaient les enfants à suivre une scolarité régulière. « J'allais à l'école comme un élève normal et le soir j'apprenais mes rôles. Ce n'était pas une double-vie, c'était la vie qui continuait », racontait l'un des derniers héritiers du Théâtre Bouquet, André Rüest, aujourd'hui disparu.

De tels témoignages ont pu être recueillis à la faveur de réseaux de connaissances ou amicaux, les héritiers de ces familles se montrant parfois hésitants à relayer leur histoire. « C'est un sujet très intime pour eux, qui ont souvent été chahutés pour être nés dans des familles vivant une existence nomade, en marge de la société, et pour qui cela a pu être douloureux d'avoir à changer de voie et d'univers », raconte Loli Jean-Baptiste.

Contact :
Laboratoire ELLIADD
Université de Franche-Comté
Loli Jean-Baptiste
jeanbaptisteloli@hotmail.com



La famille de Blasiis devant l'entrée de son théâtre, en 1934 ou 1935. Collection de Blasiis.

Page 14 : Montage du théâtre Lamarche en 1934. Collection Lamarche



Présentes dans une foule d'objets et d'applications technologiques, les microtechniques sont l'un des fers de lance de la recherche et de l'industrie dans l'Arc jurassien. Dans les laboratoires des établissements d'enseignement supérieur du territoire, plusieurs plateformes proposent leurs équipements de pointe et les compétences de leurs spécialistes pour des projets menés aux échelles du nanomètre et du micromètre.

GRAND FORMAT [PETITES ÉCHELLES]

PLATEFORMES TECHNOLOGIQUES ET PROJETS MICROTECHNIQUES

Héritage direct de son passé horloger, les microtechniques sont une spécialité de l'Arc jurassien franco-suisse. Conjuguant microélectronique et micromécanique à l'origine, les microtechniques se sont enrichies d'autres spécialités et ont peu à peu étendu leur champ d'application à des domaines très variés, l'horlogerie toujours, puis l'aéronautique, les transports, l'énergie, la santé, la défense, les télécommunications...

À l'intérieur de cette grande famille évoluant à l'échelle du très petit, les microtechnologies utilisent des méthodes spécifiques permettant d'atteindre la taille du nanomètre, et ne peuvent être développées que dans l'atmosphère hautement contrôlée des salles blanches.

Toutes les techniques et les sciences relatives aux microtechniques font l'objet de recherches académiques et de développements en lien avec

Du micromètre
au nanomètre,
les possibilités
offertes par les
plateformes
régionales
assurent un
continuum
exceptionnel

l'industrie, dans des plateformes d'excellence installées au sein des établissements d'enseignement supérieur du territoire. Le micromètre est une dimension charnière constituant souvent une limite, haute ou basse, aux possibilités offertes par les plateformes technologiques. À l'inverse, cette dimension s'intègre au niveau régional dans un *continuum* exceptionnel, des ateliers de MIFHySTO aux salles blanches de MIMENTO, pour ne citer que les plus emblématiques.

MICROFABRICATION HIGH-TECH

À MIFHySTO sont développés des procédés de microfabrication mécanique pour la réalisation de composants de dimensions inférieures au millimètre, avec une précision d'exécution de l'ordre du micromètre. « La demande évolue vers des pièces toujours plus petites et plus complexes, qui requièrent des savoirs à la fois scientifiques et techniques », explique Sébastien Thibaud, responsable de la plateforme comtoise. « L'une des ambitions de MIFHySTO est de transférer ces savoirs au monde industriel, de mettre ses compétences à la disposition de ce dernier. »

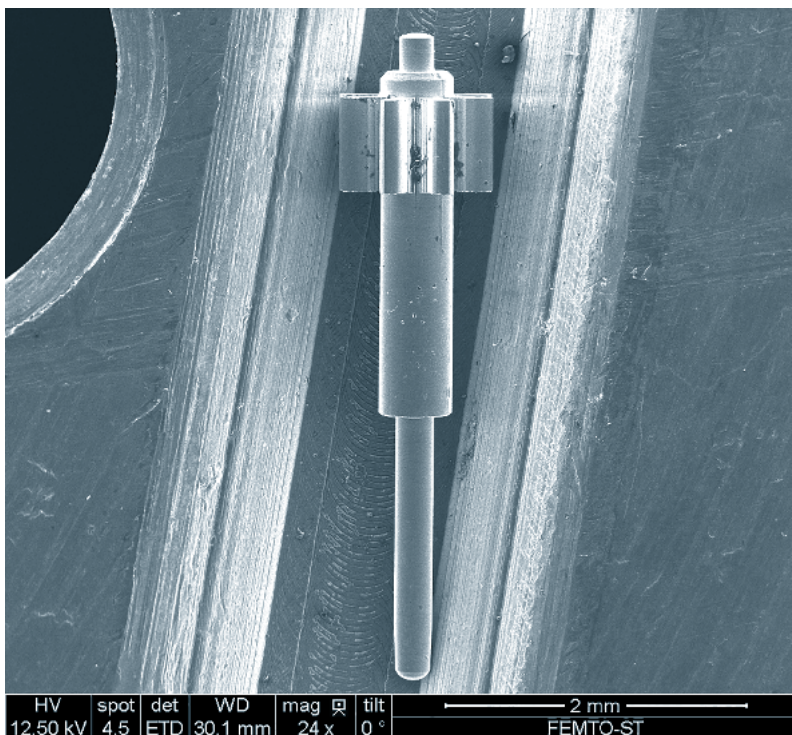
Les étudiants de l'université de Franche-Comté et de l'ENSM, futurs techniciens et cadres en entreprise, sont les premiers dépositaires des savoir-faire relayés à MIFHySTO. L'entreprise virtuelle Microcorp, créée pour les besoins de leur formation, leur donne l'occasion de travailler sur des problématiques industrielles ; la participation à des challenges ou à des concours permet d'aiguiser leur motivation. Encadrés par leurs enseignants, ils ont par exemple assuré l'usinage du plus petit ballon de foot du monde : en laiton et en aluminium,

des matériaux destinés à être remplacés par de l'or et de l'argent dans un autre projet, cette réplique miniature mais conforme ne mesure que 4,7 mm de diamètre.

Dans un autre domaine du jeu, un *Rubik's Cube* de 5,3 mm de côté, fonctionnel, n'attend plus que la coloration de ses facettes par traitement de surface pour entrer dans le *Guinness des records*.

La naissance de MIFHySTO date de 2011, mais son implantation définitive sur les sites de l'université de Franche-Comté, de l'ENSM et de l'UTBM, avec des équipements financés pour partie par la région Bourgogne - Franche-Comté, s'est achevée en 2019.

L'Institut FEMTO-ST, l'Institut UTINAM et le LERMPS, aujourd'hui intégré au Laboratoire interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB), sont à l'origine de sa création.



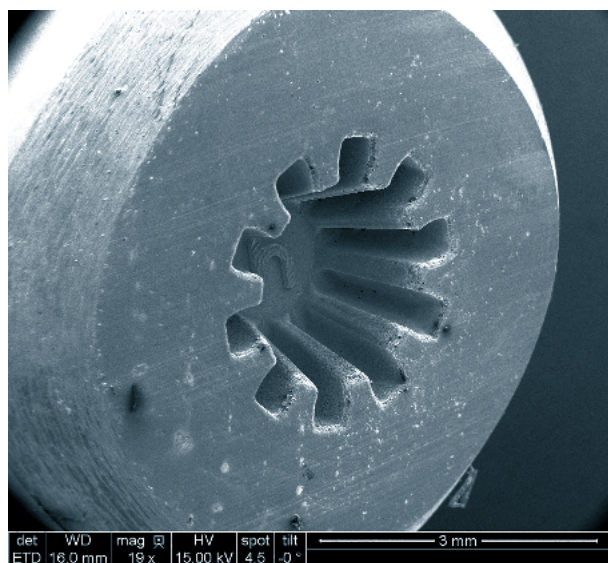
Axe horloger réalisé par décolletage dans le cadre du projet
RIS3 µD² (Partenaires : Décolletage de la Garenne (DDLG),
Baron S.A., IDMM, Fralsen, FEMTO-ST).

« Nous élaborons de nouveaux procédés en partant de l'état dans lequel le matériau doit se trouver une fois usiné : résistant, trempé, sans bavures »

DE NOUVEAUX MATÉRIAUX RESPECTUEUX DE L'ENVIRONNEMENT

À MIFHySTO, le préfixe micro se soude à toutes les opérations traditionnelles de mécanique, usinage, décolletage, fraisage, moulage, fonctionnalisation de surfaces, impression 3D, métrologie..., auxquelles s'ajoutent les traitements de surface par voie humide ou voie sèche. La microfabrication s'oriente vers le travail de matériaux nouveaux, capables de répondre aux normes instaurées depuis plusieurs années pour la protection de la santé et de l'environnement. Des laitons, alliages de cuivre et de zinc, sont remplacés par des équivalents ne contenant plus d'additifs lourds comme le plomb ou le nickel, désormais interdits. Le changement de nature de ces matériaux nécessite d'adapter les méthodes d'usinage. « Nous élaborons de nouveaux procédés en partant de l'état dans lequel le matériau doit se trouver une fois usiné : résistant, trempé, sans bavures. Le micro-usinage de matériaux très durs, tels que les carbures ou les céramiques, est actuellement en développement. Cette façon de concevoir une fabrication à rebours permet de limiter les opérations de finition et d'éviter les rebuts induits par un micro-usinage classique », raconte Sébastien Thibaud.

La caractérisation et le contrôle sont des étapes allant de pair avec toute fabrication. La tomographie à rayons X est un *must* en matière de micro-mesure, dont dispose MIFHySTO. Ce procédé non invasif permet aux spécialistes de visualiser en volume la structure interne de pièces ou de matériaux. Qualité des assemblages dans des réalisations hybrides, bulles d'air ou fissures dans des polymères ou des métaux..., les détails de composition et les moindres défauts sont restitués en images, sans dégradation des échantillons. Toutes les caractéristiques sont traduites selon une géométrie 3D sous forme de voxels, l'équivalent pour les volumes des pixels des structures planaires, à une résolution maximale de 0,4 µm. Ces micromesures sont un moyen incomparable de s'assurer de la qualité d'une pièce ou d'un matériau par rapport aux exigences d'un cahier des charges, et de rectifier un procédé de fabrication en tenant compte des anomalies relevées. « Il est possible de mettre l'échantillon en mouvement, de regarder comment se comporte sa structure interne si par exemple on le perce de trous, on le soumet à une hausse de température ou au contact d'un fluide. » Ce tomographe à rayons X est un équipement unique en Bourgogne - Franche-Comté, et représente un investissement de l'ordre de 600 000 euros, entièrement financé par la Région. Occasionnant des frais de fonctionnement élevés et nécessitant des compétences très pointues, il est un exemple typique de l'intérêt de l'accessibilité à des moyens mutualisés pour la recherche, la formation et les entreprises.



Empreinte de pignon conique dans un carbure de tungstène (W-Co).
Le diamètre du cylindre est de 6mm.

MIMENTO : NOUVEAUX INVESTISSEMENTS EN VUE DU PASSAGE À LA 4D

Voilà désormais trente ans que la centrale MIMENTO offre ses équipements et ses compétences en microfabrication et nanotechnologies. Elle est l'une des cinq grandes centrales de technologie du réseau français Renatech piloté par le CNRS, et la centrale de référence pour l'Hexagone en micro-et nano-optique, micro- et nano-acoustique, microsystèmes opto- et électromécaniques (MOEMS)

Drainant des activités à fort potentiel pour l'industrie de pointe, MIMENTO se dote de technologies et d'équipements les plus en phase possible avec ceux des entreprises

et microrobotique. Elle déploie ses activités sur une surface de 1 300 m², dont 865 m² de salle blanche (classe ISO 5 à 7).

Sur la longue liste des réalisations à mettre à l'actif de MIMENTO figure par exemple la fabrication de nanocapteurs en niobate de lithium intégrés dans une fibre optique pour la détection de champs électriques ; ces capteurs intéressent aussi bien le domaine de la défense, avec la mise au point de microradars, que la médecine pour la détection des signaux émis par les neurones du cerveau dans le cadre du traitement de maladies neurodégénératives.

Actionneurs micrométriques intervenant dans le tri automatique de cellules biologiques, dispositifs à ondes élastiques de surface pour la détection de gaz toxiques dans l'air, cellules microfabriquées pour des horloges atomiques miniatures servant la sécurisation des communications numériques ou

l'amélioration des systèmes de navigation par satellite en sont quelques autres exemples. Drainant des activités à fort potentiel pour l'industrie de pointe, MIMENTO se dote de technologies et d'équipements les plus en phase possible avec ceux des entreprises. « Nous favorisons ainsi le transfert des nouveaux concepts que nous développons vers l'industrialisation, explique Thomas Baron, directeur de MIMENTO. Depuis quelques années par exemple, les *wafers* sur lesquels sont fabriqués les microcomposants sont passés de 4" à 6", une dimension qui correspond aux standards de l'industrie pour ce type d'applications ». L'un des plus récents développements de la centrale est lié au projet NANOFUTUR, lauréat en avril dernier d'un EquipEx dans le cadre de la troisième vague du Programme d'investissements d'avenir (PIA3). Ce projet finance l'installation de nouveaux équipements pour la nanostructuration de la matière assistée par laser. « Ces équipements permettront d'augmenter les performances de matériaux piézoélectriques, isolants ou conducteurs déjà réalisés en 3D, et de leur apporter de nouvelles fonctionnalités », explique Jean-Claude Jeannot, directeur technique de MIMENTO. La plateforme bénéficie de financements européens par le biais du FEDER, nationaux via l'Agence nationale de la recherche (ANR) et le CNRS, et régionaux grâce au soutien des collectivités, notamment la Région, le Département du Doubs et la Communauté d'agglomérations du Grand Besançon.



μROBOTEX DEVIENT LE CENTRE DE MICRO- ET NANOROBOTIQUE

La plateforme μROBOTEX s'est à plusieurs reprises distinguée avec des réalisations montrant l'étendue de son savoir-faire en microrobotique et microscopie électronique, qui ont fait le tour du monde. Les plus

emblématiques sont la construction de la maison la plus petite jamais assemblée, d'une surface de $10 \times 20 \mu\text{m}$, invisible à l'œil nu, et la réalisation d'un film d'animation mettant en scène des figurines de 0,3 mm sous les traits de David Bowie. Des démonstrations spectaculaires pour valoriser des moyens et des compétences mis au service de projets R&D dans des champs aussi variés que l'aéronautique, la défense, l'électronique, l'horlogerie, l'automobile et la médecine



Figurine de 0,3 mm de David Bowie dans le film d'animation Stardust Odyssey réalisé en 2019.

minimalement invasive. MiMedI est dans ce dernier domaine l'un des projets phares de la plateforme. Mené en collaboration avec le laboratoire RIGHT et l'Établissement français du sang Bourgogne - Franche-Comté, il recourt aux possibilités offertes par les microtechniques pour automatiser la production de médicaments de thérapie innovante dans une enceinte hermétique de petites dimensions, dont l'installation est prévue, à terme, au lit du patient. Très innovant, le procédé permet de modifier et de multiplier à des fins thérapeutiques des cellules

prélevées dans le sang d'un patient, puis de les réinjecter en toute sécurité dans son organisme.

Forte de sept ans d'activité, la plateforme prend aujourd'hui une nouvelle envergure et devient le Centre de micro- et nanorobotique (CMNR), dont le pilotage continue à être assuré par le département AS2M de l'Institut FEMTO-ST. « Dans le prolongement de $\mu\text{ROBOTEX}$, le CMNR associe la connaissance des microsystèmes, des phénomènes physiques et chimiques à l'échelle nanométrique, à la robotique et à l'automatique. C'est un environnement unique pour l'automatisation du micro-assemblage et pour la caractérisation des micro- et nanosystèmes », explique Olivier Lehmann, ingénieur de recherche au département AS2M.

La plateforme se voit attribuer de nouveaux espaces de micromanipulation et de micro-assemblage à l'air libre, ainsi qu'une nouvelle salle blanche ; des équipements supplémentaires, microscopes, robots, capteurs..., lui permettent d'étoffer son offre de service auprès des laboratoires comme des entreprises. Un microscope utilisant les principes physiques de l'holographie pour la vision en 3D d'objets de taille micrométrique, vient par exemple d'intégrer son parc machine. « La concentration de moyens dont bénéficie aujourd'hui le CMNR est exceptionnelle, elle signifie le développement important de solutions technologiques et représente un plus grand potentiel en matière de recherche. »

Le projet national TIRREX (Infrastructure Technologique pour la Recherche d'Excellence en Robotique) est le moteur autorisant cette montée en puissance. Élu au titre du programme des investissements d'avenir PIA3 / EquipEx+, il dote le CMNR d'un budget de 751 000 euros sur huit ans, que complète un financement de la région Bourgogne - Franche-Comté.

« La concentration
de moyens
dont bénéficie
aujourd'hui le
Centre de micro- et
nanorobotique est
exceptionnelle »

DÉPÔTS EN COUCHES MINCES POUR SURFACE

La plateforme SURFACE est dédiée à l'élaboration et à la caractérisation de matériaux en couches minces et ultraminces. Elle est née de la volonté de deux équipes de recherche du département MN2S de l'Institut FEMTO-ST, aux intérêts convergents : l'une développe des compétences en chimie, en physique des surfaces et en nanosciences, l'autre maîtrise les procédés de dépôt physique en phase vapeur historiquement déployés à l'UTBM. Ensemble, ces équipes balaient un large spectre d'épaisseurs de dépôts, et assurent un *continuum* entre recherche fondamentale et appliquée.

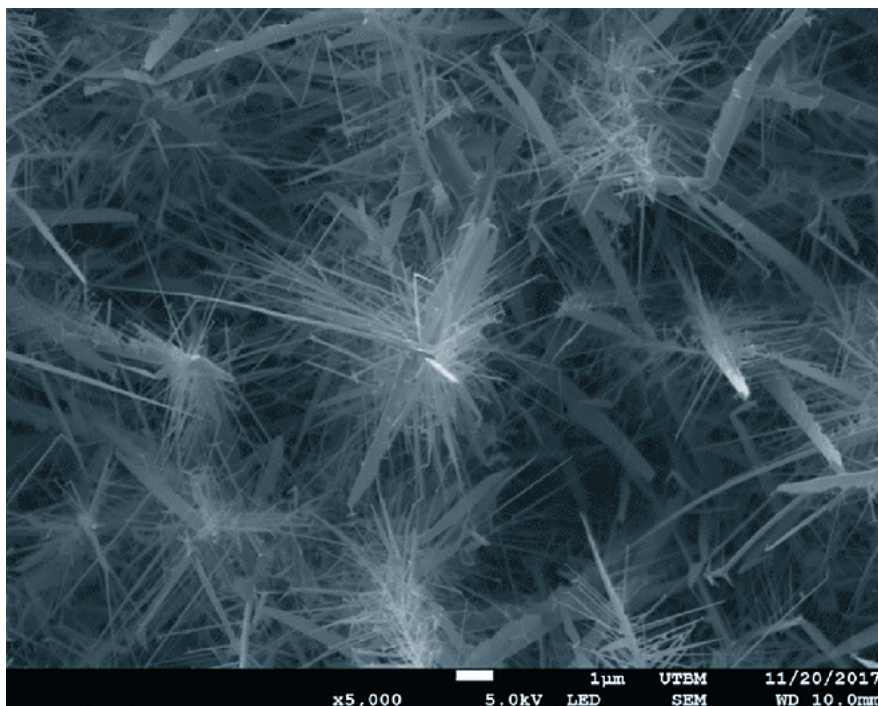
Frank Palmino, Pascal Briois et Frédéric Chérioux pilotent la jeune structure réunissant une quinzaine de spécialistes. L'une des recherches monopolisant actuellement les ressources de SURFACE concerne la production d'ammoniac de synthèse. Ce gaz est un vecteur potentiel d'énergie pour l'avenir, en particulier pour les transports : l'ammoniac ne génère que de l'eau et de l'azote lors de sa combustion, et son stockage requiert une pression de 8 bars seulement.

« Mais l'ammoniac est difficile à synthétiser, une opération qui nécessite une grande quantité d'énergie ; il est nécessaire de trouver de nouvelles méthodes pour assurer une production moins énergivore », explique le chimiste Frédéric Chérioux, responsable du projet à FEMTO-ST. « La recherche porte sur les mécanismes susceptibles de casser les liaisons chimiques de la molécule d'azote, élément qui constitue 80% de l'air, pour la transformer en ammoniac, composé d'azote et d'hydrogène ». Les expérimentations sont menées sous ultravide et à très basse température ; elles utilisent l'influence de champs électriques générés par des électrodes, qui seront spécifiquement mises au point par les ingénieurs de la centrale MIMÉTO. Les microscopes à force atomique et à effet tunnel sont des équipements indispensables pour contrôler

et observer les actions produites à l'échelle moléculaire. Ces réactions sont si difficiles à observer que la plateforme vient d'acquérir un microscope à effet tunnel fonctionnant à 10 kelvins, soit - 263,15 °C, une température permettant la visualisation d'atomes et de molécules isolées.

« Ce microscope fonctionne en totale autonomie pour la production de froid, ce qui limite l'impact environnemental de ce type de recherche. » Ce projet soutenu par l'ANR est mené en collaboration avec l'école nationale supérieure de chimie de Paris et l'université de Vienne en Autriche.

Responsable scientifique de la plateforme SURFACE, Frank Palmino est professeur à l'université de Franche-Comté ; Pascal Briois, maître de conférences HDR à l'UTBM, est directeur adjoint du département MN2S à l'Institut FEMTO-ST ; Frédéric Chérioux est directeur de recherche CNRS et responsable de l'équipe MOSAÏC à MN2S.



Nano-arbres d'oxyde de zinc déposés (application capteur de gaz). Photo SURFACE

Au-delà des
dépôts de
matériaux,
SURFACE possède
les compétences
pour mettre
au point de
nouveaux
procédés

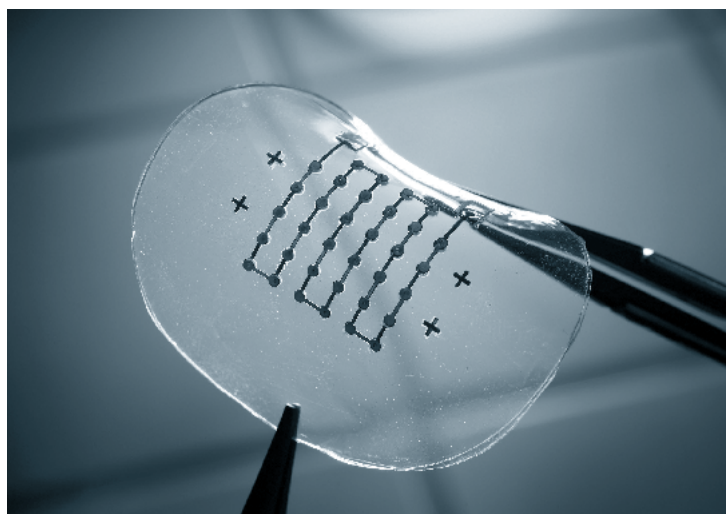
REVÊTEMENTS À LA DEMANDE POUR L'INDUSTRIE

Cœur de métier des spécialistes de la plateforme SURFACE, l'élaboration de matériaux par procédés physiques ou chimiques se décline dans de nombreuses réalisations et applications : des revêtements élaborés par dépôt physique en phase vapeur entrent en jeu dans les piles à combustible à oxydes solides fonctionnant à hautes températures, par exemple pour les besoins de l'unité d'appui et de recherche FCLab et des projets institutionnels sur le développement de cœurs de piles ; l'élaboration de matériaux thermoélectriques autorise la production d'électricité à partir de la différence de température entre deux surfaces ; la synthèse de films avec indices optiques contrôlés ou des couleurs spécifiques dans des matériaux transparents permet la mise au point de dispositifs optiques pour des partenaires académiques et industriels... Au-delà des dépôts de matériaux, SURFACE possède les compétences pour mettre au point de nouveaux procédés. Ainsi le développement d'une machine de dépôt spécifique pour des applications en photocatalyse : « Ce procédé a été breveté par le consortium d'un projet ANR dont les personnels de SURFACE étaient membres. »

L'élaboration de matériaux innovants ne saurait se concevoir sans les caractérisations nécessaires pour définir leurs propriétés mécaniques, électriques, thermo-électriques, optiques... La plateforme SURFACE possède les expertises et tous les équipements, de l'échelle atomique à l'échelle macroscopique, pour caractériser les matériaux et revêtements qu'elle développe.

Outre les projets de recherche, les équipements semi-industriels d'un parc machine estimé à six millions d'euros favorisent de nombreux partenariats avec les entreprises. « Ces moyens uniques permettent de réaliser des revêtements à la demande pour l'industrie, des prestations de service assurant à la plateforme un chiffre d'affaires annuel de 150 000 à 200 000 euros », raconte Pascal Briois. Ces dépôts à façon sont réalisés avec des délais très courts, une réactivité que les experts mettent un point d'honneur à assurer, et qui constitue un atout supplémentaire de la plateforme SURFACE.

MEDTECHS À LA HAUTE ÉCOLE ARC INGÉNIERIE



Microgénérateur thermoélectrique - Réalisation HE-Arc Ingénierie
Photo patriceschreyer.com

« Nos activités comprennent la combinaison de microsystèmes thérapeutiques et diagnostiques pour la médecine personnalisée, prédictive et préventive, des implants intelligents, des dispositifs médicaux informatisés assistés par ordinateur, ainsi que le développement de systèmes pour l'assistance à la vie pour un vieillissement réussi. » Responsable du groupe de compétences Dispositifs médicaux, Philippe Potty résume dans ces lignes l'essentiel des activités medtechs menées à la Haute école Arc Ingénierie.

FEMTO-ENGINEERING, UN PONT ENTRE LA RECHERCHE ET L'INDUSTRIE

FEMTO Engineering favorise le transfert de technologies développées à l'Institut FEMTO-ST vers l'industrie, essentiellement dans les domaines de l'optique, de l'électronique, de l'automatique, de l'intelligence artificielle et des microsystèmes. Créée en 2013, FEMTO Engineering fonctionne aussi comme un guichet unique, orientant les entrepreneurs vers les équipes et les structures

techniques susceptibles de les aider à mener à bien leurs projets, et de répondre le mieux possible à leurs attentes. Dans le cadre de cette mission, l'objectif est de rendre plus facile l'accès aux plateformes et à la recherche, notamment aux PME. FEMTO-Engineering prend en compte aussi bien une demande de prestation qu'un projet de grande envergure à soumettre à une équipe.

Les systèmes microfluidiques constituent l'un des axes de recherche développés : l'intégration de capteurs sur puces microfluidiques donne lieu à la fabrication de dispositifs permettant par exemple au personnel soignant d'analyser des gouttes de sang ou de salive pour un diagnostic rendu en quelques minutes, ou encore de composants dans lesquels sont emprisonnés des groupes de bactéries, dans le cadre de la mise au point de traitements.

Les travaux portent également sur la réalisation de capteurs intelligents portables, des dispositifs électroniques souples remplaçant avantageusement, en termes de performance et de confort pour le patient, les capteurs habituellement intégrés sur des cartes épaisses et rigides. Entrent dans ces dispositifs des électrodes sur substrats souples, capables de se courber pour épouser la forme du bras lors de la réalisation d'électrocardiogrammes, et divers capteurs de saturation d'oxygène, de température, d'analyse de sueur, de détection de taux de glucose..., pour lesquels des versions souples sont particulièrement intéressantes en pédiatrie.

Les dispositifs sans fil sont aussi dans la ligne de mire des chercheurs, dont l'un des projets actuels concerne l'intégration de capteurs dans des T-shirts pour assurer un *monitoring* cardiaque lors de la pratique d'activités sportives. « De tels systèmes existent déjà, mais sont très coûteux, de l'ordre de 200 à 500 francs suisses. Notre objectif est de trouver un compromis pour que la qualité de traitement du signal soit non pas la meilleure possible, mais suffisante pour cette application, et permette ainsi d'obtenir des prix plus bas, aux alentours de 15 francs », explique Philippe Potty. De nombreux autres dispositifs à dimension micrométrique sont étudiés par l'équipe, parmi lesquels figure la mise au point d'« organes artificiels », des puces microfluidiques qui réagissent comme le feraient un foie, un pancréas..., en vue de tester des médicaments.

Technologie laser pour la structuration de matériaux par usinage ou fabrication additive, technologie plasma pour le dépôt et la fonctionnalisation des surfaces, *electrospinning* pour la création de fibres et de membranes, photolithographie, impression 3D pour l'élaboration de résines biocompatibles..., les équipements et la salle blanche de l'école, actuellement installés sur différents sites, devraient être réunis dans une plateforme unique, au Locle, à l'horizon 2026.

Contacts :

MIFHySTO
Sébastien Thibaud
sebastien.thibaud@ens2m.fr

MIMENTO
Thomas Baron
Tél. +33 (0)3 81 40 28 96
Jean-Claude Jeannot
Tél. +33 (0)3 63 08 24 78
mimento@femto-st.fr

Centre de micro- et nanorobotique
Olivier Lehmann (transfert et industrie)
Tél. +33 (0)3 81 40 27 99
olivier.lehmann@femto-st.fr
Guillaume Laurent (recherche)
Tél. +33 (0)3 81 40 28 08
guillaume.laurent@femto-st.fr

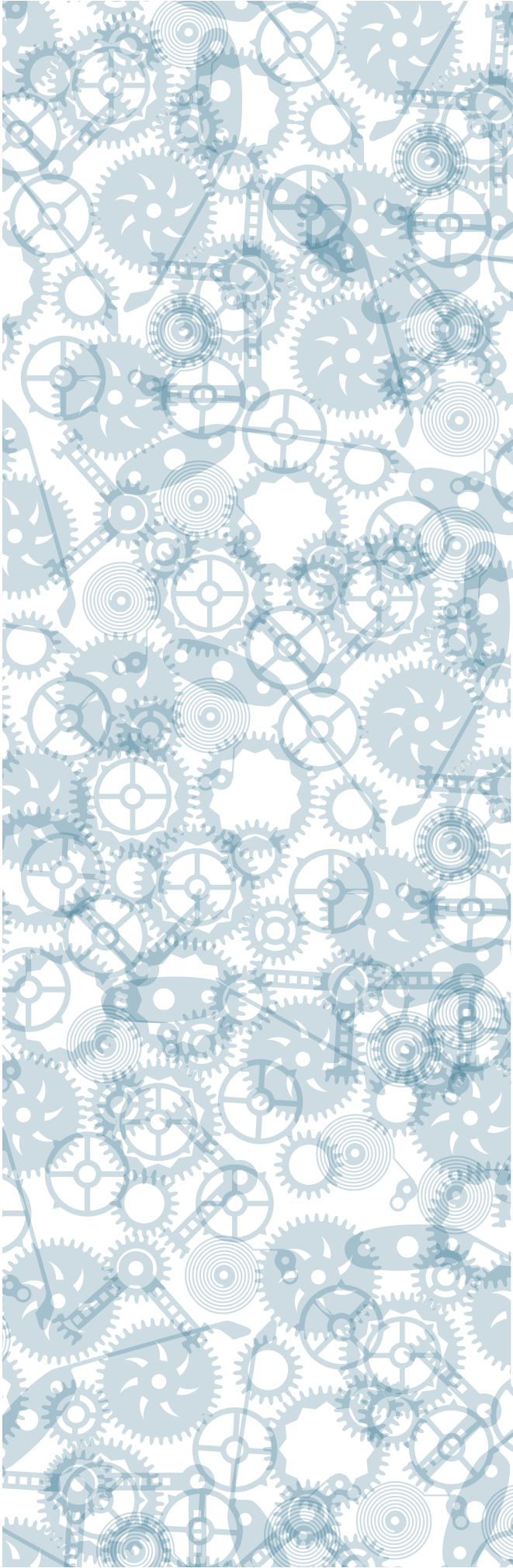
SURFACE
Frank Palmino
Tél. +33 (0)3 81 99 47 12
frank.palmino@univ-fcomte.fr

Pascal Briois
Tél. +33 (0)3 84 58 37 01
pascal.briois@utbm.fr

Frédéric Chérioux
Tél. +33 (0)3 63 08 24 25
frederic.cheroux@femto-st.fr

FEMTO-Engineering
www.femto-engineering.fr

Haute école Arc Ingénierie
Philippe Potty
Tél. +41 (0)32 930 26 22
philippe.potty@he-arc.ch



EN DIRECT

LE JOURNAL DE LA RECHERCHE ET DU TRANSFERT DE L'ARC JURASSIEN

Direction recherche et valorisation | Université de Franche-Comté

Tél. +33 (0)3 81 66 20 06 / 20 88 | Journal-EnDirect@univ-fcomte.fr

endirect.univ-fcomte.fr

Directrice de la publication : Macha Woronoff | Rédaction, composition :

Catherine Tondou | Diffusion, site web : Laura Riefolo | Conception graphique :

Gwladys Darlot | Impression : L'imprimeur Simon, Ornans / Imprim'vert.

en direct est édité par : Université de Franche-Comté^{1/2}

1, rue Claude Goudimel | 25030 Besançon cedex

Présidente : Macha Woronoff | 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

École nationale supérieure de mécanique et des microtechniques^{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

Directrice : Brigitte Bachelard | Tél. +41 (0)32 930 11 11

Établissement français du sang Bourgogne - Franche-Comté

1, boulevard A. Fleming | 25020 Besançon cedex

Directeur : Christophe Bésiers | Tél. +33 (0)3 81 61 56 15

¹ Établissement membre de la Communauté du savoir, réseau de collaboration de l'Arc jurassien franco-suisse. ² Membre fondateur de la communauté d'établissements UBFC

Avec le soutien de la région Bourgogne - Franche-Comté. ISSN : 0987-254 X.
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