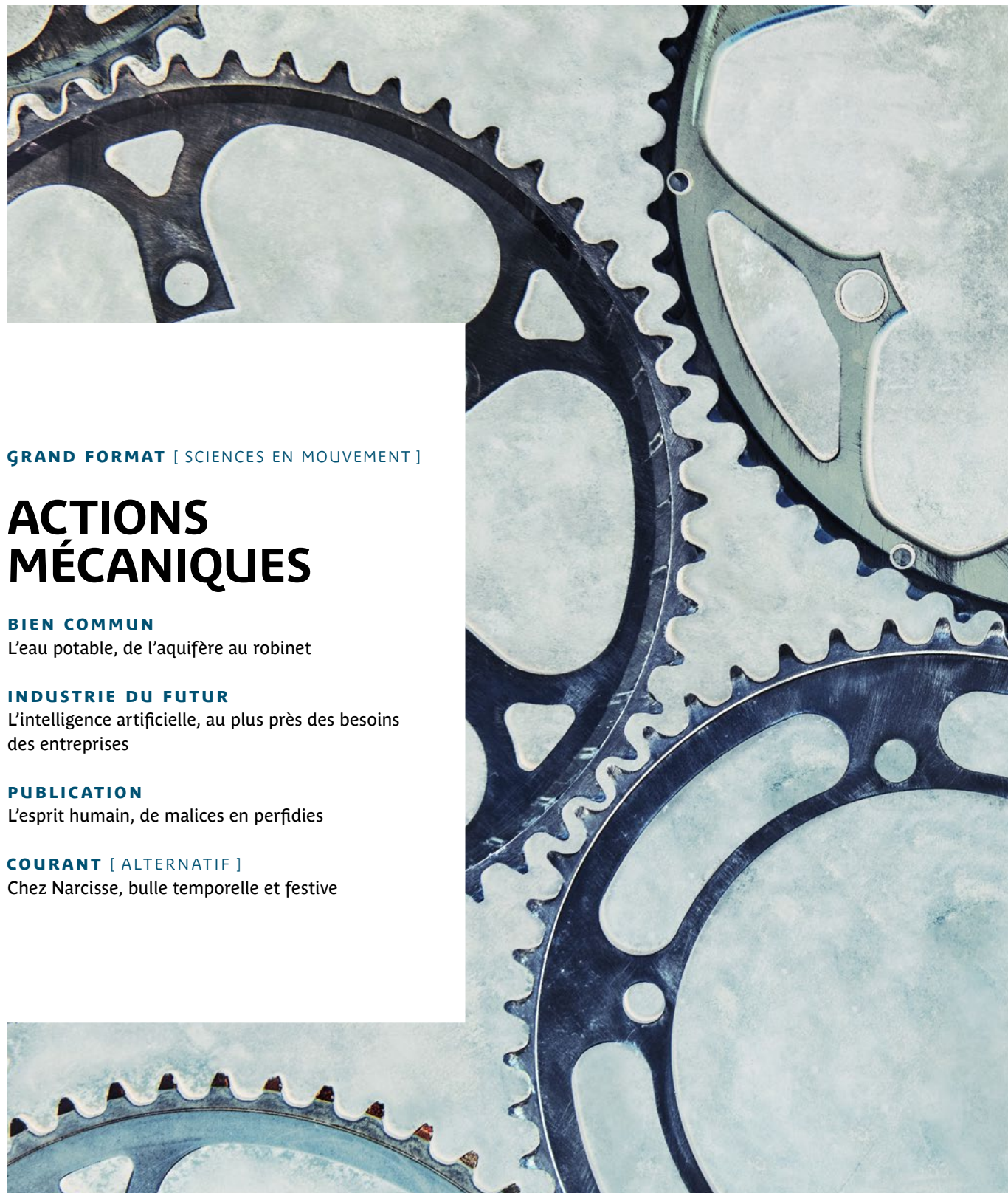


EN DIRECT

LE JOURNAL DE LA RECHERCHE ET DU TRANSFERT DE L'ARC JURASSIEN - NUMÉRO 301 - JUILLET - AOÛT 2022



GRAND FORMAT [SCIENCES EN MOUVEMENT]

ACTIONS MÉCANIQUES

BIEN COMMUN

L'eau potable, de l'aquifère au robinet

INDUSTRIE DU FUTUR

L'intelligence artificielle, au plus près des besoins des entreprises

PUBLICATION

L'esprit humain, de malices en perfidies

COURANT [ALTERNATIF]

Chez Narcisse, bulle temporelle et festive



EN DIRECT

NUMÉRO 301 - JUILLET-AOÛT 2022

3 | ACTUALITÉS

- Pascaline Saire honorée par une médaille de cristal
- L'autophagie, un étonnant mécanisme de survie des cellules
- Prix national au concours MT180
- Un mastère spécialisé hydrogène-énergie ouvre à l'UTBM
- L'eau potable, de l'aquifère au robinet
 - Des instruments sismologiques pour mieux connaître les eaux souterraines
 - Ressources et consommation : un nécessaire rééquilibrage
- La fermentation, un grand principe de base
- Podemos : à la rencontre de la « gauche alternative » espagnole
- L'intelligence artificielle, au plus près des besoins des entreprises
- L'esprit humain, de malices en perfidies

12 | TECHNOLOGIES [D'AVENIR]

Chercheurs engagés dans le plan quantique français

14 | COURANT [ALTERNATIF]

Chez Narcisse, bulle temporelle et festive

16 | GRAND FORMAT [SCIENCES EN MOUVEMENT]

Actions mécaniques

PASCALINE SAIRE HONORÉE PAR UNE MÉDAILLE DE CRISTAL

Il est bien connu que la valeur n'attend pas le nombre des années. La médaille de cristal du CNRS reçue par Pascaline Saire confirme l'adage de façon éclatante. Responsable administrative du Laboratoire de mathématiques de Besançon (LmB), Pascaline Saire investit ce poste en 2014 sur concours du CNRS, à l'issue d'une licence en comptabilité-gestion (DCG) passée à Besançon et d'un DUT en gestion des entreprises et des administrations (GEA), dont elle effectue une année à l'IUT de Saint-Pierre à la Réunion. Encouragée par un contexte de travail stimulant, Pascaline Saire oriente sa mission dans de multiples directions, avec en tête un seul objectif : favoriser les activités des quelque cent enseignants-chercheurs, chercheurs, doctorants, invités et personnels d'appui à la recherche du LmB. « Le fonctionnement du laboratoire, de taille moyenne, me permet d'être polyvalente, autonome, et de prendre des responsabilités tout en bénéficiant de la collaboration d'une équipe », explique-t-elle. Contrats de recherche, conventions, bilans financiers, budgets prévisionnels..., tous les aspects administratifs font partie de son quotidien et nécessitent de connaître sur le bout des doigts les procédures à mettre en œuvre autant que de savoir s'adapter à des outils informatiques en évolution permanente. Pascaline Saire évoque la complexité de certaines situations administratives qui se posent aux chercheurs, et à elle par ricochet, arguant avec sérénité « que chaque problème a une solution », selon une réaction très à propos dans un

laboratoire de mathématiques. Son rôle de responsable administrative implique également des activités transverses : ressources humaines, recherche et valorisation, protection des données, hygiène et sécurité, ou encore communication interne et externe. Concernant cet aspect, elle crée et alimente un compte *Twitter* pour assurer la présence du laboratoire sur les réseaux sociaux ; à l'interne, elle réalise des livrets LmB pour accueillir les nouveaux arrivants et propose des séances d'information sur des questions d'ordre administratif, pour ne citer que ces exemples. Pascaline Saire est référente pour deux groupes de travail, écoresponsabilité et qualité de vie au travail. Cette dernière préoccupation se concrétise notamment par un cadre qu'elle a su rendre plus chaleureux, avec l'insertion de décorations végétales ou d'inspiration mathématique dans des lieux fréquentés par tous. L'esprit sans aucun doute très occupé par ces différentes activités, Pascaline Saire n'a rien soupçonné de l'envoi de sa candidature au CNRS par la direction, un secret par ailleurs bien gardé au laboratoire. En mai dernier, l'appel téléphonique de l'institution lui annonçant qu'elle est lauréate de la médaille de cristal 2022 est une totale et heureuse surprise. « C'est une très belle reconnais-

sance, valorisante et motivante. Je ne peux que l'associer au travail de toute une équipe, et en particulier de ma collègue Charlène Gourand, avec laquelle je travaille constamment en tandem. »



La médaille de cristal du CNRS distingue des personnels d'appui à la recherche, ingénieurs, techniciens et administratifs, qui, par leur créativité, leur maîtrise technique et leur sens de l'innovation, contribuent à l'avancée des savoirs et à l'excellence de la recherche française. À l'université de Franche-Comté, Gilles Vuidel, ingénieur de recherche en calcul scientifique au laboratoire Théma, a également été récompensé par une médaille de cristal du CNRS, en 2021.

Contact :
Laboratoire de mathématiques
de Besançon – LmB
Université de Franche-Comté
Pascaline Saire
Tél. + 33 (0)3 81 66 63 40
pascaline.saire@univ-fcomte.fr

L'AUTOPHAGIE, UN ÉTONNANT MÉCANISME DE SURVIE DES CELLULES

L'autophagie est un processus de survie qu'induisent les cellules pour résister à des stress internes ou produits par leur environnement. Les cellules sont ainsi capables de dégrader leurs propres constituants et de les recycler pour se nourrir en cas de déficit d'apport nutritionnel ; elles trouvent ainsi avec l'autophagie un moyen de se défendre contre des molécules toxiques intracellulaires ou véhiculées depuis l'extérieur, par des micro-organismes notamment. Ce processus s'active de façon transitoire afin d'aider les cellules à survivre en attendant de meilleures conditions de fonctionnement, mais il peut aussi les épuiser et provoquer leur mort en cas de stress extrême. Si l'autophagie est connue depuis les années 1960, il faut attendre le milieu des années 1990 pour que ses mécanismes soient mis en évidence, d'abord dans la levure, puis chez les mammifères et plus spécifiquement chez l'être humain.

LA PROTÉINE GABARAPL-1 EN LIGNE DE MIRE

Parallèlement à ces avancées scientifiques, des chercheurs en biologie cellulaire bisonnins découvrent en 1993 un nouveau gène régulé par les estrogènes, qu'ils baptisent GEC₁/GABARAPL-1, puis en 2010, démontrent que la protéine GABARAPL-1 codée par ce gène est impliquée dans le processus de l'autophagie, et constatent également que cette protéine est absente de nombreux tissus cancéreux. L'équipe menée par Michaël Guittaut, professeur de biochimie à l'université de Franche-Comté et responsable du groupe AETIC (Autophagie, épigénétique et immunité T antitumorale) au sein de l'unité de recherche RIGHT, place dès lors GABARAPL-1 au centre de travaux orientés vers la compréhension du mécanisme de l'autophagie et de ses liens complexes avec le cancer. « Dans le cas des maladies

neurodégénératives, l'autophagie est totalement et clairement défaillante. Mais dans le contexte du cancer, elle peut être absente, dérégulée, voire activée, en fonction des différentes phases de la maladie. Il est donc pour l'instant difficile de savoir si elle est une cause ou une conséquence de l'apparition et du développement de cancers, et la recherche doit encore progresser pour envisager la manière dont ses mécanismes pourraient être utilisés dans un objectif thérapeutique. »

De la cellule au tissu humain, les recherches développées au sein de l'unité RIGHT vont dans le sens d'une meilleure compréhension des processus à l'œuvre, y compris de leur rôle dans la réponse du système immunitaire face aux cancers.

L'intensification des travaux menés sur l'autophagie depuis les années 2000 a donné lieu à la constitution de communautés de recherche comme le Club francophone de l'autophagie (CFATG), dont les 10^e journées scientifiques étaient organisées à Besançon fin mai par le comité local regroupant des chercheurs de Besançon et Dijon.

La manifestation a réuni au Kursaal et à la Citadelle quelque cent cinquante participants venus de toute la France, voire au-delà, autour de conférenciers de stature internationale. « Un franc succès, en même temps qu'une belle promotion pour l'université et la ville », souligne Michaël Guittaut.



Les 10^e journées de l'autophagie, du 31 mai au 2 juin 2022 à Besançon. Photo Laura Riefolo-Weiler

Contact :

Laboratoire RIGHT - Groupe AETIC
 UFC / EFS / INSERM
 Michaël Guittaut
 Tél. +33 (0)3 81 66 69 58
 michael.guittaut@univ-fcomte.fr

UBFC

PRIX NATIONAL AU CONCOURS MT 180

Trois minutes, chrono en main, c'est le temps accordé aux doctorants francophones du concours Ma thèse en 180 secondes (MT180) pour expliquer le contenu de leur thèse de façon convaincante et accessible à tous. L'édition 2022 marque la première participation d'UBFC à la finale nationale, à laquelle non pas une, mais deux doctorantes ont accédé : Anaïs Perrichet et Charlotte Montillot, toutes deux du laboratoire Lipides, nutrition, cancer à Dijon, qui se sont prêtées avec brio à cette joute oratoire.

Anaïs Perrichet a remporté un très beau prix du public lors de cette finale organisée fin mai à Lyon, que lui ont décerné plus de trois mille votants : « C'était une expérience incroyable et ce prix



du public fait vraiment chaud au cœur, il signifie que j'ai touché beaucoup de monde avec ma présentation ». La doctorante travaille sur les mécanismes d'action de la molécule Interleukine 1 (IL-1), dont le rôle contradictoire sur le développement des cellules cancéreuses pose question. « Cette molécule est connue pour s'attaquer aux cellules responsables d'une inflammation, mais dans le cas du cancer, elle est un peu désorientée car ce sont les cellules mêmes de notre organisme qui sont modifiées et deviennent cancéreuses. » D'où son rôle ambivalent selon les cancers et les traitements.

Anaïs Perrichet a réussi à mettre en évidence les conditions dans lesquelles IL-1 agit favorablement pour ralentir la croissance tumorale dans le cas du cancer du

poumon, grâce à des expériences réalisées *in vivo* sur des souris. « La présence de la molécule facilite la prolifération de la tumeur en l'absence de tout traitement. Mais dès lors que cette présence est associée à un traitement combinant chimio- et immunothérapie, il se produit l'effet inverse : l'IL-1 aide à ralentir la croissance tumorale. » Un article portant sur ces résultats devrait être soumis à publication scientifique dans les prochaines semaines, alors que s'achève la deuxième année de thèse seulement de la jeune chercheuse. « Cette perspective est motivante, tout comme ce prix qui donne envie de s'investir encore plus, et pour lequel je remercie tous ceux qui m'ont apporté leur soutien. »

Contact :
Laboratoire Lipides, nutrition, cancer
Université de Bourgogne / Inserm
Anaïs Perrichet
anaïs.perrichet@gmail.com

BAC+6

UN MASTÈRE SPÉCIALISÉ HYDROGÈNE-ÉNERGIE OUVRE À L'UTBM

L'hydrogène s'impose aujourd'hui comme un acteur incontournable de la transition énergétique. Pour répondre aux besoins croissants et précis du tissu industriel dans ce domaine, l'UTBM ouvre un mastère spécialisé hydrogène-énergie à la rentrée de septembre. De niveau bac+6, accessible aux diplômés bac+5 ou aux titulaires d'un master 1 complété de trois ans d'expérience professionnelle, le mastère spécialisé est une formation de douze mois labellisée par la Conférence des grandes écoles (CGE). La moitié de l'année sera consacrée

à une mission en entreprise, et les professionnels s'engagent par ailleurs aux côtés des enseignants-chercheurs de l'université de technologie pour assurer les enseignements. « De la production à la consommation, dans le domaine du stationnaire comme dans celui de la mobilité, toute la chaîne de valeur hydrogène est concernée. La formation aborde aussi les aspects transverses de stockage, de sécurité et de création d'écosystèmes en lien avec l'hydrogène », explique Robin Roche, responsable du mastère, qui précise que « les enseigne-

ments s'appuient sur les moyens expérimentaux de la plateforme Hydrogène-énergie de l'UTBM ». Le mastère hydrogène-énergie est la première formation de ce type en France. En Bourgogne - Franche-Comté, il complète l'offre existante et notamment le CMI H3E (Cursus master ingénierie - Énergie, hydrogène, efficacité énergétique) ouvert à l'université de Franche-Comté en 2014.

Contact :
UTBM
Robin Roche - Tél. + 33 (0)3 84 58 34 79
robin.roche@utbm.fr

L'EAU POTABLE, DE L'AQUIFÈRE AU ROBINET

Les réservoirs d'eau souterrains du massif jurassien font encore preuve de mystères, que la sismologie, en lien avec l'hydrologie et la climatologie, peut aider à percer. Et mieux connaître l'eau, c'est aussi mieux la protéger et mieux la gérer. Des enjeux dont la priorité est montée d'un cran avec le bouleversement climatique.

DES INSTRUMENTS SISMOLOGIQUES POUR MIEUX CONNAÎTRE LES EAUX SOUTERRAINES

Les collaborations apparaissent depuis une dizaine d'années entre l'hydrogéologie, qui concerne les eaux souterraines, et la géophysique, qui comprend de nombreuses disciplines en sciences de la Terre. Enseignante-chercheuse à l'université de Franche-Comté / Chrono-environnement, c'est en sismologie que Julie Albaric apporte son expertise aux investigations menées au laboratoire sur les aquifères karstiques.

Un exemple de l'intérêt de mettre en lien les disciplines est l'impact du séisme de Roulans (2004) sur le réservoir du bassin versant de Fourbanne (25) : « Les chercheurs

ont à l'époque observé une augmentation brutale de la conductivité électrique de l'eau souterraine. Le passage des ondes sismiques aurait provoqué l'expulsion d'eau très minéralisée piégée dans des fractures peu perméables, faisant augmenter la conductivité », explique la chercheuse. De tels résultats mettent en évidence qu'une « lecture » des bruits sismiques, qui englobent tous les mouvements de la Terre, peut aider à comprendre ce qui se joue dans les aquifères karstiques.

Équipé de longue date de sondes hydrogéologiques, le site de Fourbanne a été doté en 2018 de stations sismologiques placées en surface et, de façon plus rare, à vingt mètres de profondeur grâce à un conduit rocheux débouchant dans une rivière souterraine de quelque 8 km de long. Les sismomètres enregistrent les ondes générées à l'intérieur du réservoir, parmi lesquelles se distinguent les fréquences propres à la circulation de l'eau. Dans un projet développé en collaboration avec les chercheurs de l'Institut Terre et environnement de Strasbourg, ces données ont fait l'objet d'un traitement par *machine learning* pour bâtir un modèle de prédiction permettant d'anticiper la variation du niveau des eaux souterraines et la survenue de crues.

Les recherches récentes ont démontré l'intérêt d'une lecture physique pour le *monitoring* des eaux souterraines. L'enregistrement des bruits sismiques

ambients peut également donner de précieuses indications sur les dynamiques des transferts d'eau, également mal connues dans des environnements karstiques difficiles d'accès tels que celui du Jura. Quels sont les chemins empruntés par l'eau ? Existe-t-il des zones de stockage encore non identifiées ?... Ce type de questions est au centre du projet SISMEAUCCLIM engagé en 2020 pour trois ans sur un financement de la Région, en collaboration avec les chercheurs en climatologie du laboratoire Biogéosciences de Dijon. L'étude est instrumentée par une soixantaine de capteurs sismologiques de surface disséminés sur le bassin versant de Fourbanne, dont certains sont couplés avec des pluviomètres, et qui s'ajoutent aux dispositifs existants. La mise en relation des données sismiques, climatiques et hydrogéologiques sur les quatre mois prévus pour l'expérience permettra d'apporter des connaissances inédites sur le fonctionnement du réservoir. L'un des axes de la recherche concerne la vitesse de propagation des ondes sismiques, dont les variations représentent un indicateur de première importance sur la présence ou non d'eau. L'objectif à terme est de réaliser une imagerie en 4D du bassin versant : « Il s'agit d'une représentation spatiale en 3D assortie d'une dimension temporelle, indiquant la pluviométrie et les variations de vitesse du bruit sismique à attribuer aux transferts d'eau », explique la chercheuse.



La rivière souterraine de Fontenotte. Photo Julie Albaric

RESSOURCES ET CONSOMMATION : UN NÉCESSAIRE RÉÉQUILIBRAGE



Photo Pixabay

Les réservoirs d'eau souterraine constituent une ressource essentielle dans les régions calcaires ; dans le massif du Jura, ils fournissent près de 80 % de l'alimentation en eau potable. C'est dire l'enjeu majeur qu'ils représentent, à l'heure où les problématiques de changement climatique et de sécheresse se posent de façon récurrente. Lors d'un café scientifique organisé par l'université de Neuchâtel en avril dernier¹, les participants insistaient sur une nécessaire prise de conscience des citoyens autant que des politiques : nous avons le sentiment que l'eau est là pour toujours, alors que les changements que nous vivons sont très rapides et ont un impact fort sur les ressources. La climatologue Martine Rebetez, professeure à l'université de Neuchâtel et à l'Institut fédéral de recherches WSL rappelle le déséquilibre induit par le bouleversement climatique sur le cours d'une année, avec davantage d'épisodes d'abondantes précipitations et d'épisodes de sécheresses intenses. « La hausse

des températures provoque un supplément d'évaporation. L'air peut absorber plus d'eau, prise entre autres dans les sols et la végétation, et en transporter davantage, qui sera disponible au moment des précipitations. De plus en plus de grandes zones sont concernées par la sécheresse, les besoins en eau pour l'agriculture s'intensifient et demandent à puiser davantage dans les ressources. »

80 % DE L'EAU CONSOMMÉE EN SUISSE EST IMPORTÉE

Hydrogéologue au Centre d'hydrogéologie et de géothermie (CHYN) de l'université de Neuchâtel, Daniel Hunkeler souligne qu'il est actuellement difficile d'implanter de nouveaux captages pour l'alimentation en eau potable : « Le territoire est trop largement colonisé par l'agriculture intensive et le développement d'infrastructures comme les autoroutes. Dans la pratique agricole, il faut intégrer l'idée que les surfaces agricoles ne doivent pas produire uniquement de la nourriture, mais aussi de l'eau potable, *via* l'alimentation des nappes en eau », explique le chercheur, en appelant à de nouvelles législations territoriales. Dans ce contexte, diversifier les sources d'approvisionnement en eau apparaît indispensable, à divers degrés : c'est par exemple recourir davantage à l'eau des lacs ou recueillir plus d'eau de pluie. Développer des systèmes de redistribution pour fournir de l'eau à ceux qui en manquent est une option, mais l'ingénierie qui apparaît déjà difficile à mettre en œuvre entre deux villages devient une gageure à plus grande

échelle. C'est pourtant au niveau mondial que la réflexion doit se porter. « Une part croissante de l'humanité est clairement vitalement menacée par le manque d'eau lié à la hausse des températures », estime Martine Rebetez.

Or, et pour ne citer que ce pays, pas moins de 80 % de l'eau consommée en Suisse est importée : c'est l'eau qui est nécessaire pour produire, dans les pays étrangers, les biens de consommation que nous achetons. En dehors de l'attention désormais classique que chacun doit porter à sa consommation pour le lavage des voitures, le remplissage des piscines ou l'arrosage des jardins, il est également indispensable de prendre conscience de l'importance de la consommation d'eau que représentent des achats de produits importés comme la nourriture, en particulier la viande, ou les vêtements, provenant de pays ou de régions déjà souvent placés en situation de stress hydrique.

¹ *Et si le robinet ne coulait plus ?*
Café scientifique du 27 avril 2022, à retrouver en podcast sur le site de l'UniNe.

Contacts :
Laboratoire Chrono-environnement
Université de Franche-Comté
Julie Albaric
Tél. + 33 (0)3 81 66 63 69
julie.albaric@univ-fcomte.fr

Institut de géographie
Université de Neuchâtel
Martine Rebetez
Tél. +41 (0)32 718 15 10
martine.rebetez@unine.ch

Centre d'hydrogéologie et de géothermie
(CHYN)
Université de Neuchâtel
Daniel Hunkeler
Tél. +41 (0)32 718 25 60
daniel.hunkeler@unine.ch

LA FERMENTATION, UN GRAND PRINCIPE DE BASE

Au début des années 1860, les expériences de Louis Pasteur (1822-1895) réfutent formellement la théorie de la génération spontanée défendue par Pouchet : elles prouvent que c'est au contact de l'air que des matières dégradables sont susceptibles de produire de la vie. Cette allégation s'affine lorsque Pasteur met en évidence la présence de « particules » dans l'air, puis leur omniprésence dans l'environnement. L'identification de bactéries, levures et autres micro-organismes, appelés microbes à partir des années 1880, devient centrale pour la compréhension des mécanismes de la fermentation des aliments et ceux de la transmission des maladies infectieuses.

Ces avancées débouchent sur l'élaboration de méthodes expérimentales entraînant des transformations remarquables pour la consommation, l'hygiène et la santé : la pasteurisation qui protège les liquides de toute altération, l'asepsie qui défend contre les infections, la vaccination qui engage le système immunitaire à lutter contre les maladies..., des évolutions en chaîne que servent aussi les travaux d'autres scientifiques.

LE LAIT, COMPOSANT DU PROJET HYSAM

Lorsque Pasteur oriente ses réflexions sur la fermentation du vin et de la bière, le chimiste et biologiste Émile Duclaux (1840-1904), son ancien élève puis proche assistant, poursuit les travaux premiers de son confrère sur le lait. C'est le début d'une longue série d'études et de progrès scientifiques sur un composant essentiel de l'alimentation.



Inauguration officielle de la campagne du verre de lait initiée par Mendès-France, dans l'école de Châtelet-en-Brie, en décembre 1954. Photo Société d'histoire de Châtelet-en-Brie, www.shcb77.fr

Le lait est au centre du projet HYSAM¹ coordonné par Fabien Knittel, enseignant-chercheur en histoire à l'université de Franche-Comté / Centre Lucien Febvre, qui souligne « l'importance des travaux de Duclaux sur l'amélioration de la production du lait et des fromages, et sur l'application de nouvelles techniques pour perfectionner l'alimentation en lait des enfants ». Fabien Knittel rappelle ainsi comment, au cours du XX^e siècle, le lait de vache pasteurisé a pu se substituer au lait maternel pour les mères qui ne pouvaient allaiter, ou être distribué quotidiennement aux enfants dans les écoles, au titre de complément alimentaire. Il raconte comment Pierre Dornic (1864-1933), fondateur du laboratoire d'analyse laitière de Mamirolle en 1888, mit au point l'acidimètre, connu sous le nom de « degré Dornic », pour vérifier la teneur en matières grasses du lait et s'assurer, entre autres propriétés, qu'il n'a pas été allongé d'eau. Une précaution capitale au pays du Comté...

Les innovations, les techniques et les savoir-faire issus des travaux de Pasteur, de Duclaux et d'autres avec eux, leur évolution et leur transmission, sont autant de pistes de connaissance mises en valeur par les chercheurs du projet HYSAM.

¹ HYSAM (hygiénisme, santé alimentaire et études médicales) est un projet axé sur l'histoire et la sociologie de l'hygiénisme, des études de médecine et des questions de santé liées à l'alimentation, depuis le XIX^e siècle jusqu'à nos jours.

Les chercheurs impliqués s'intéressent à la relation entre santé et hygiénisme en milieu rural, à l'intégration des questions d'hygiène et de médecine sociale dans la pratique et la formation médicales, et aux relations entre hygiénisme alimentaire et traitement social de la pauvreté.

Cette action (2019-2022) a été financée par la fédération des Maisons des sciences de l'homme de Bourgogne et de Franche-Comté, puis par le réseau national des MSH.

Contact :
Centre Lucien Febvre
Université de Franche-Comté
Fabien Knittel
Tél. + 33 (0)3 81 65 71 13
fabien.knittel@univ-fcomte.fr

PODEMOS : À LA RENCONTRE DE LA « GAUCHE ALTERNATIVE » ESPAGNOLE

En 2014, le jeune parti espagnol Podemos obtenait cinq sièges au Parlement européen. En 2015, il s'imposait à la tête de plusieurs villes, dont Madrid et Barcelone, et en 2020, son leader Pablo Iglesias devenait vice-président du gouvernement. L'enthousiasme autour du parti qualifié de « gauche alternative » faiblit ensuite. Des grandes mairies obtenues, il ne lui reste aujourd'hui que Barcelone ; Pablo Iglesias n'a fait qu'un bref passage au gouvernement et s'est retiré de la vie politique en mai 2021, quittant son poste de secrétaire général du parti. Mais Podemos continue à bénéficier de l'approbation de 15 % de l'électorat espagnol. Son influence a conditionné des avancées sociales majeures ; son mode de fonctionnement et son organisation ont fait leurs preuves ; son discours a remobilisé la jeunesse autour de la question politique. Et s'il est difficile de prédire son avenir sur l'échiquier politique espagnol, il apparaît certain que Podemos en a bousculé toutes les pièces au cours de la dernière décennie. Signé par Mathieu Petithomme, enseignant-chercheur en sciences politiques à l'université de Franche-Comté / CRJFC, l'ouvrage *Génération Podemos* retrace la trajectoire du parti depuis son émergence en 2010 jusqu'à la place qu'il a prise dans une mouvance touchant différents pays en Europe. Des recherches de terrain menées par l'auteur entre 2014 et 2017, enquêtes auprès de la population espagnole, interviews de militants, observations de meetings, dépouillement de coupures de presse, nourrissent

l'analyse pour « alimenter le débat sur les leçons et les limites de l'expérience Podemos ».

LES RAISONS D'UNE ASCENSION FULGURANTE

Le chercheur expose les différents facteurs à l'origine de l'ascension fulgurante du parti. Sur le plan économique et social, la crise économique de 2008 entraîne faillites, aggravation du chômage – qui atteint jusqu'à 27 % de la population active début 2013 – et hausse des inégalités ; l'austérité, imposée en réponse à la crise par la gauche puis par la droite au pouvoir, plonge en réalité un peu plus le pays dans le chaos. Au fil des années 2010, le mécontentement gagne l'ensemble de la société. Des collectifs de citoyens se montent pour lutter contre l'expulsion de propriétaires placés dans l'incapacité de rembourser leurs emprunts, pour s'élever contre des pratiques bancaires jugées intolérables, pour protester contre l'explosion du coût des études ou encore la privatisation des hôpitaux. D'un point de vue politique, l'image des partis est entachée par une corruption généralisée, impliquant des élus de tous bords. À gauche, le virage opéré par le PSOE vers le néolibéralisme déçoit de nombreux militants. Et l'électorat change : la jeune génération, capable de s'affranchir du dogme des partis

conventionnels mieux que ses aînés, adopte de « nouvelles attitudes politiques ».

Au-delà de la description d'un contexte qui à divers titres favorise l'avènement d'une « deuxième gauche », Mathieu Petithomme montre comment le fonctionnement même de Podemos lui bénéficie. Il souligne notamment la capacité d'innovation dont fait preuve le jeune parti, à la fois dans son discours et dans sa façon de communiquer, et sa faculté à se « professionnaliser », passant en quelques années du statut de parti indigné à celui de force politique.



Petithomme M. *Génération Podemos. Sociologie politique d'un parti indigné*, Presses universitaires de Rennes, 2021.

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE, AU PLUS PRÈS DES BESOINS DES ENTREPRISES



S'immisçant toujours plus dans le quotidien des particuliers, l'intelligence artificielle (IA) se sert d'internet pour fonctionner : elle collecte des informations puis les envoie pour traitement sur le *cloud*, avant de rapatrier le résultat à l'expéditeur sous forme d'un service personnalisé.

La Chine et les États-Unis, ainsi que les GAFA, ont la mainmise sur l'énorme marché de l'IA et du *big data* qui la nourrit. Pour tirer son épingle du jeu, l'Europe privilégie les marchés de niche et se tourne vers les applications de l'IA pour l'industrie ou la science. C'est dans ce contexte que les membres du consortium BonsAPPs font leur chemin. Ce projet européen, regroupant huit équipes en Italie, Espagne, Suède, Pologne et Suisse, est coordonné par Nuria Pazos et Nabil Ouerhani, tous deux professeurs d'informatique à la HE-Arc Ingénierie.

BonsAPPs est l'un des six consortiums travaillant à renforcer la montée en compétence de la plateforme européenne AI4EU (Intelligence artificielle pour l'Union européenne).

« L'ambition de BonsAPPs est d'intégrer l'intelligence artificielle au cœur des objets du quotidien, et de mettre à la disposition des entreprises des solutions adaptées à leurs problématiques, *via* la plateforme », expliquent les chercheurs.

BESOINS D'INFORMATION EN TEMPS RÉEL

Automobile, biens et services, robotique, dispositifs médicaux : les domaines d'application du projet concernent essentiellement des besoins d'information en temps réel, qui par essence ne peuvent attendre un traitement par le *cloud*. Le meilleur exemple concerne la détection d'un piéton qui traverse la route par un véhicule autonome : les capteurs de la voiture repèrent la personne et commandent simultanément l'action des freins. Cela peut être aussi, pour un robot, de reconnaître dans une assemblée le visage de la personne à qui il est chargé d'apporter un colis. Ou encore,

sur une ligne de fabrication, une machine intelligente capable, grâce au traitement de ses propres données, d'adapter la production pour limiter les rebuts. Dans tous les cas, l'objectif sous-jacent est de « démocratiser l'intelligence artificielle », de la rendre plus accessible aux entreprises, et surtout aux plus petites, en limitant les coûts et les besoins en connaissances.

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE SIMPLIFIÉE

« L'idée est de simplifier les algorithmes existants pour qu'ils soient moins gourmands en puissance de calcul, de miniaturiser les dispositifs pour les rendre facilement intégrables aux produits et systèmes industriels, enfin de proposer un service à la carte par le biais de la plateforme. » Intégrer l'IA à proximité des capteurs présente des avantages supplémentaires : s'affranchir autant que possible de la dépendance au *cloud*, à des multinationales ou à des pays tiers, et en même temps gagner en sécurité des données. Lancé en 2021 pour une durée de trois ans, BonsAPPs prend le relais du projet H2020 Bonseyes, dont il allonge la liste des participants ; il est doté d'un budget de 5,5 millions de francs suisses, dont 2 millions sont destinés à des projets menés en lien direct avec des industriels.

Contacts :

Haute Ecole Arc Ingénierie
Nuria Pazos / Nabil Ouerhani
Tél. + 41 (0)32 930 22 50 / 22 08
nuria.pazosescudero@he-arc.ch
nabil.ouerhani@he-arc.ch

PUBLICATION

L'ESPRIT HUMAIN, DE MALICES EN PERFIDIES

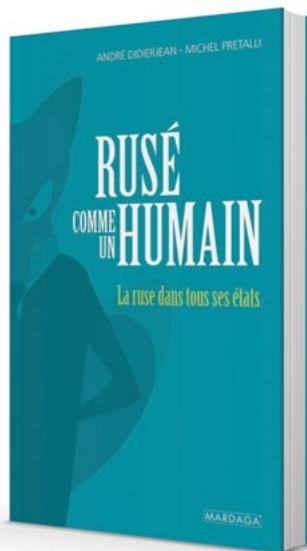
Astuces, artifices, fourberies, machinations, stratagèmes..., les tours et détours que la ruse emprunte sont nombreux. On trouve la ruse à l'état naturel, comme le prouvent les subterfuges employés par certains animaux pour attirer une proie par exemple, une faculté remarquable de longue date. *Rusé comme un poulepe* est une formule de langage qui avait cours à l'Antiquité, *rusé comme un renard* est d'usage dès le Moyen Âge. Selon une expression revisitée, *Rusé comme un humain* est le titre d'un ouvrage qui s'attache à décrire la place de la ruse dans les activités de l'homme en parcourant, chapitre après chapitre, certains des domaines où elle intervient : la guerre, le sport, la publicité, l'économie, la magie et l'art. La guerre est l'un des terrains de jeu emblématiques et historiques de la ruse, souvent convoquée pour résoudre les affrontements ou sauver sa vie ; de l'épopée antique de Troie aux conflits du XX^e siècle, des constantes régissent de façon étonnante les formes et les mécanismes à l'œuvre. Le monde du sport questionne pour sa part le concept, entre stratégie et éthique : si la tactique et l'effet de surprise font partie du jeu de la pratique sportive, la ruse clandestine, elle, enfreint ses règles. En économie comportementale,

la ruse échappe à toute notion de jugement : elle est un moyen parmi d'autres pour servir les intérêts d'agents par définition rationnels. Avec son lot de manipulations en tous genres, la publicité est un domaine d'application par excellence de la ruse, qui se double d'une bonne dose d'humour pour atteindre plus sûrement le but recherché. Dans un tout autre registre, la magie est un jeu de dupes auquel le spectateur se prête volontiers ; elle utilise des ressorts psychologiques comme le détournement de l'attention pour réussir des coups de bluff magistraux. Le dernier secteur

exploré est celui de l'art, qui souvent s'ingénie à transformer le réel, comme en peinture où la perspective et le trompe l'œil sont des illusions largement exploitées. Signé par Michel Pretalli et André Didierjean, enseignants-chercheurs à l'université de

Franche-Comté, respectivement à l'Institut des sciences et techniques de l'Antiquité (ISTA) et au laboratoire de psychologie, l'ouvrage reçoit les contributions de spécialistes des différents domaines abordés pour faire découvrir la ruse sous (presque) toutes ses formes.

Pretalli M., Didierjean A. (sous la direction de), *Rusé comme un humain. La ruse dans tous ses états*, Éditions Mardaga, 2022.



Avec son lot de manipulations en tous genres, la publicité est un domaine d'application par excellence de la ruse, qui se double d'une bonne dose d'humour pour atteindre plus sûrement le but recherché



Photo Shutterstock

Mettre en lien les forces régionales issues de la recherche académique et de l'industrie pour développer les technologies quantiques, tel est l'objectif affiché du Plan quantique lancé en France en 2021. Un plan dans lequel s'inscrivent des chercheurs de plusieurs laboratoires de la région, organisés en réseau.

TECHNOLOGIES [D'AVENIR]

CHERCHEURS ENGAGÉS DANS LE PLAN QUANTIQUE FRANÇAIS

Le plan vise le rapprochement des disciplines (mathématiques, physique théorique, physique expérimentale, informatique), et les collaborations avec l'industrie

Lancé en janvier 2021 par le gouvernement, doté d'un budget de 1,8 milliard d'euros, le Plan quantique veut structurer la recherche et les ressources industrielles pour assurer la montée en puissance des technologies quantiques en France. Sur la région, six laboratoires¹ sont impliqués dans ce dispositif : en Bourgogne - Franche-Comté le LmB, l'Institut UTINAM, l'Institut FEMTO-ST, l'IMB et l'ICB, auxquels s'ajoute le laboratoire L2n à Troyes. Les technologies quantiques ne concernent encore qu'une communauté scientifique restreinte en France. En région, les investigations sont menées par de petites équipes, mais les activités déployées couvrent tout le spectre du domaine quantique, de la résolution fondamentale d'équations mathématiques au développement de dispositifs industriels. Cette configuration

fait du réseau régional un acteur de premier ordre sur le territoire national. « Le plan vise le rapprochement des disciplines, en premier lieu les mathématiques, la physique théorique, la physique expérimentale et l'informatique. Renforcer les collaborations entre la sphère académique et l'industrie figure aussi au nombre de ses objectifs. L'organisation des forces de recherche permettra d'atteindre de meilleurs résultats pour gagner en développement technologique », expliquent David Viennot et José Lages, tous deux enseignants-chercheurs en physique théorique à l'université de Franche-Comté / Institut UTINAM. Piloté par le CNRS, le Plan quantique prévoit notamment le recrutement de doctorants pour renforcer les équipes de recherche ; une formation accrue des étudiants de master est aussi inscrite à sa feuille de route.

COMPOSER AVEC LE BRUIT QUANTIQUE

La recherche fondamentale en physique est le versant exploré à UTINAM. L'un des défis actuels, qui figure aux objectifs du plan, concerne la mise au point de « technologies de taille intermédiaire bruitées ». Tout système physique est soumis à des perturbations, thermiques ou vibratoires par exemple, des « bruits » qui ont la force d'ouragans à l'échelle de l'atome. On peut chercher à réduire ces bruits et par là même leur impact sur le fonctionnement d'un système. On peut aussi essayer de faire avec, ce qui implique de développer des systèmes moins puissants, de taille intermédiaire donc, mais plus faciles à mettre en œuvre. « Il s'agit pour nous de trouver les équations mathématiques qui permettront de décrire le bruit, de mesurer ses impacts, puis de donner les moyens de le contourner. »

Le bruit provoque de la décohérence, un phénomène qui anéantit les propriétés quantiques d'un système. L'équipe travaille à limiter ce processus, en s'appuyant sur la modélisation de procédés optiques.

Une des recherches concerne le piégeage optique d'ions « froids », qui sont de bons candidats pour la mise au point d'un ordinateur quantique. « Lorsqu'ils sont soumis au faisceau d'un laser, les ions interagissent entre eux. Cette interaction confère aux ions les propriétés voulues pour le traitement et le stockage de l'information quantique. En protégeant les ions de la décohérence grâce au piégeage optique, il est théoriquement possible d'intriquer une centaine de qubits, résultat qui dépasserait de loin ceux obtenus avec d'autres technologies. »

L'ordinateur quantique est

à la portée des scientifiques. Plus puissant et plus rapide que l'ordinateur classique, il développera des capacités de mémoire supérieures et offrira des possibilités de résolution différentes. L'ordinateur quantique intéressera tous les systèmes de télécommunication pour lesquels une sécurité d'information absolue est requise. Il permettra également de démêler des situations complexes, insolubles pour un ordinateur classique, et ainsi de répondre aux besoins d'optimisation qui ont cours dans les domaines de la finance ou de l'ingénierie. « L'exemple type d'une situation complexe en informatique est celui du voyageur de commerce. Le problème est de déterminer le chemin le plus court pour que ce commercial visite toutes les villes de son secteur, une seule fois, avant de revenir à son point de départ. » Aucun algorithme ne sait résoudre ce casse-tête, plus compliqué qu'il n'y paraît dès lors que le nombre de villes à visiter est important. Le problème du voyageur de commerce est typiquement de l'ordre de ceux que pourra résoudre l'ordinateur quantique.

Un ordinateur quantique qui, s'il est pour demain, ne remplacera pas l'ordinateur classique sur les bureaux à la maison ou dans les entreprises. Le processeur requiert en effet une puissance de calcul telle qu'elle ne pourra être assurée que dans les centres de calculs, qui, eux, les mettront à disposition pour qu'ils puissent répondre aux demandes de chacun.

Contacts :
 Institut UTINAM
 Université de Franche-Comté / CNRS
 David Viennot / José Lages
 Tél. + 33 (0)3 81 66 69 16 / 69 03
 david.viennot@utinam.cnrs.fr
 jose.lages@utinam.cnrs.fr

¹ Les membres du réseau sont le Laboratoire de mathématiques de Besançon (LmB), l'Institut UTINAM, l'Institut FEMTO-ST, l'Institut de mathématiques de Bourgogne (IMB), le Laboratoire interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB), et le Laboratoire Lumière, nanomatériaux, nanotechnologies (L2n) de l'université de technologie de Troyes (UTT). Ce réseau coordonné par Dominique Sugny, professeur de physique théorique à l'ICB, s'inscrit dans le Plan quantique en prolongement du projet I-QUINS, aujourd'hui terminé.

Plus puissant et plus rapide, l'ordinateur quantique développera des capacités de mémoire supérieures à celles de l'ordinateur classique et offrira des possibilités de résolution différentes



Bienvenue Chez Narcisse, bistrot de village et scène punk-rock française : un mélange de ruralité et de culture alternative, une histoire familiale plus que centenaire, un lieu hors du commun et du temps ordinaire...

COURANT [ALTERNATIF]

CHEZ NARCISSE, BULLE TEMPORELLE ET FESTIVE

Un cocktail détonnant au cœur des Vosges, qui force l'étonnement et l'intérêt, au point de devenir un objet de recherche ethnopsychologique

CINQ GÉNÉRATIONS D'ANTICONFORMISME

À la fois café de village et scène musicale punk-rock, Chez Narcisse offre un cocktail détonnant au cœur du Val d'Ajol, dans les Vosges. Une recette peaufinée au fil de cent trente ans d'expérience, sur la base d'ingrédients incontournables : accueil chaleureux, partage culturel, tendance *do it yourself*, le tout assaisonné d'une bonne dose d'esprit contestataire. Chez Narcisse force l'étonnement et l'intérêt, au point de devenir en 2017 un objet de recherche ethnopsychologique pour Audrey Tuillon Demésy, enseignante-chercheuse à l'Université de Franche-Comté / laboratoire C3S. « Mes travaux s'inscrivent dans le cadre d'une recherche ANR sur l'histoire du punk en France, lancée en 2016 par Solveig Serre et Luc Robène, des collègues historiens et musicologues. » Audrey Tuillon Demésy apporte donc sa pierre à l'édifice avec l'étude de ce haut-lieu de la

culture alternative planté en milieu rural, dont certains traits de caractère ne sont pas sans évoquer ceux de pratiques sportives, elles aussi alternatives, telles que le *quidditch* tout droit né de la saga *Harry Potter*, et que la chercheuse étudie en parallèle. Mais ceci est une autre histoire, revenons à celle de Chez Narcisse, qui depuis 1892¹ oscille entre saga familiale et légende. En cette fin de XIX^e siècle, Alfred Collot, maréchal-ferrant de son état, installe un bistrot à côté de son atelier pour faire patienter ses clients autour d'un verre pendant qu'il s'occupe de leurs chevaux. Dans les années 1930, son fils Narcisse le suit dans la voie du divertissement en construisant une salle de cinéma au fond du jardin pour répondre aux souhaits professionnels de son épouse. Les choses se gâtent lorsque l'entreprise est taxée de « cinéma du diable » par le curé du village, qui gère un autre cinéma et prend ombrage de cette concurrence et d'une affiche qu'il juge inconvenante

<¹ Le fronton de l'établissement indique sa naissance en 1897, mais la découverte récente d'un carnet de comptabilité daté de 1892 fait remonter son histoire un peu plus loin dans le temps. Chez Narcisse fêterait donc cette année ses 130 ans... Photo Audrey Tuailleon Demésy

« Les concerts organisés chez Narcisse représentent une sorte de rupture avec le temps linéaire qui guide nos sociétés »

pour la morale et la religion. C'est la Seconde Guerre mondiale, le curé en profite pour dénoncer Narcisse à la *Kommandantur* locale pour communisme et faits de résistance. Cependant l'histoire se finit bien, et la guerre se termine pour la famille Collot avec une anecdote plus légère : au grand dam de Narcisse, son fils Norbert tente une coupe de cheveux à l'iroquoise, inspirée de celle des soldats américains. On est loin du mouvement punk des années 1970 et des crêtes qui en seront un symbole, mais par le jeu des coïncidences, la coupe audacieuse du jeune homme, photographiée avant d'être reléguée au rang de souvenir, deviendra plus tard le logo de la salle de spectacle. Une salle qui, en 1986, sous l'impulsion de Stéphanie, la fille de Norbert, comme ses copains peu intéressée par l'ambiance des

LE TEMPS D'UN CONCERT

Depuis la Révolution industrielle, nos sociétés sont guidées par une conception linéaire du temps ; c'est le *Chronos* de la philosophie antique, emmené par la notion de progrès et la volonté d'aller de l'avant. Le temps cyclique, nommé *Aiôn*, celui des saisons ou des anniversaires, est passé à l'arrière-plan. « Les concerts organisés chez Narcisse représentent une sorte de rupture avec le temps linéaire et renouent avec *Aiôn* pour une soirée », explique Audrey Tuailleon Demésy. L'idée va plus loin qu'une simple parenthèse dans le temps ; il s'agit plutôt de « bulles », dans lesquelles passé, présent et futur sont imbriqués : un état d'esprit qui, d'après les recherches menées, serait commun aux pratiques alternatives, qu'elles soient culturelles ou sportives.

Chez Narcisse, le présent, c'est le temps de la fête et d'un rituel détaché du quotidien. Le passé, c'est l'imaginaire punk, convoqué sur scène par certaines chansons devenues cultes ; c'est aussi le temps de l'enfance, dont des concerts placés sous le signe de l'impertinence autorisent à retrouver l'esprit léger. Le futur, c'est... *no future*, avec son cortège de sentiments mélancoliques, désabusés, voire désespérés ; de façon paradoxale, c'est aussi et malgré tout un idéal à construire et l'envie de transmettre, que le côtoiement de différentes générations aux concerts rend tangibles. « Cette remise en cause de l'ordre temporel traduit un phénomène de résistance qu'il est intéressant d'interroger. » Une question d'ordre sociologique qui s'inscrit dans un contexte plus large, celui du projet en sciences humaines et sociales *Aiôn*, financé par l'Agence nationale de la recherche pour quatre ans (2019-2023) ; piloté par Audrey Tuailleon Demésy, ce projet s'intitule plus précisément Socio-anthropologie de l'imaginaire du temps. Le cas des loisirs alternatifs.

boîtes de nuit, prend la place du cinéma déserté depuis plusieurs années. L'enceinte accueille des musiciens locaux, puis étoffe sa programmation avec les grands noms du punk-rock français comme les Sheriff, Molodoï ou Parabellum, selon le même cahier des charges culturel : des groupes français, des titres engagés.

HÉRITAGE SÉCULAIRE

Aujourd'hui l'aventure se poursuit, après un passage de relais dans les mains des enfants de Stéphanie ; le festival Le pied orange, dont c'est la troisième édition ce mois de juillet, complète l'animation du village qui, plusieurs fois par an, voit débarquer cinq cents fans de punk et de rock pour des concerts. « Chez Narcisse, en tant que salle de concerts, a peu à peu été intégré

à la vie du Val d'Ajol, le bistrot surtout faisant lien, analyse Audrey Tuailleon Demésy. C'est un lieu de sociabilité villageoise autant qu'un lieu culturel, qui réunit toutes les générations, toutes les catégories sociales. » Un lieu dont il ne semble pas abusif de dire qu'il a une âme, héritée d'une histoire séculaire et animée par des valeurs de partage et de convivialité.

Pour en savoir plus : le film *Chez Narcisse* (52') écrit avec Audrey Tuailleon Demésy, disponible sur www.sanchoetcompagnie.fr/film/chez-narcisse et le site du projet *Aiôn* : <https://aion-project.org>

Contact :
Laboratoire C3S
Université de Franche-Comté
Audrey Tuailleon Demésy
audrey.tuailleon-demesy@univ-fcomte.fr



Mécanique. Nom féminin. Science du mouvement et de l'équilibre des corps. Cette définition concise du Petit Robert pose les bases d'une discipline à la croisée de la physique et des mathématiques, et qui s'est enrichie au contact de champs comme l'électronique et l'informatique. Du matériau originel à l'objet fini en passant par la machine, la mécanique est la clé de voûte de nombre de réalisations techniques et sert quasiment tous les domaines scientifiques.

GRAND FORMAT [SCIENCES EN MOUVEMENT]

ACTIONS MÉCANIQUES

Les axes de
recherche
des sciences
mécaniques sont
étroitement liés
aux défis sociétaux
d'aujourd'hui

Les sciences mécaniques sont à l'honneur avec l'organisation de l'année de « la mécanique du futur » par l'INSIS, l'Institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes du CNRS, en collaboration avec des acteurs du domaine tels que l'Association française de mécanique (AFM). Ancrée sur 2021 et 2022, cette mise en lumière se traduit par une série d'actions à visée scientifique et d'événements en direction du public. Un appel à projets spécifiquement destiné à soutenir des approches innovantes en mécanique ou en lien avec d'autres disciplines a été lancé en janvier 2021 sous le nom Projets exploratoires - premier soutien (PEPS). Au Département mécanique appliquée (DMA) de l'Institut FEMTO-ST, une recherche proposée par Fabien Amiot, de l'équipe ECTO, figurait parmi les 27 projets retenus au titre du PEPS, pour une durée d'un an. « Lorsqu'un objet mécanique est suffisamment petit, on constate qu'on peut le déformer en modifiant sa chimie en surface. La recherche porte sur la compréhension des mécanismes qui commandent ce changement. » Un modèle théorique représente les termes de l'hypothèse de recherche : « La modification de la chimie sur un des côtés d'une poutre d'un micromètre d'épaisseur entraîne une déformation de l'objet telle qu'il diffracte des rayons lumineux dans une certaine longueur d'onde ».

LE DÉPARTEMENT MÉCANIQUE APPLIQUÉE, EN PHASE AVEC LES PROBLÉMATIQUES DE SOCIÉTÉ

Le Département mécanique appliquée (DMA) est le prolongement, à l'Institut FEMTO-ST, du laboratoire éponyme créé en 1962 par Raymond Chaléat.

Il est actuellement dirigé par Philippe Picart, professeur de mécanique à l'université de Franche-Comté, et compte cent dix membres. En 2021, le DMA a été réorganisé en six équipes, dont les axes de recherche sont liés aux défis sociétaux

d'aujourd'hui : Matériaux pour la transition écologique (MAT'ÉCO) ; Biomécanique des tissus mous (BiomécaT) ; Mécano-chimie et tribologie (ECTO) ; Microtechniques intelligentes (MICRO) ; Procédés de fabrication et interactions surfaces et matériaux (PRISM) ; Dynamique des *smart structures* (D.SMART). Les moyens technologiques de deux plateformes servent les besoins

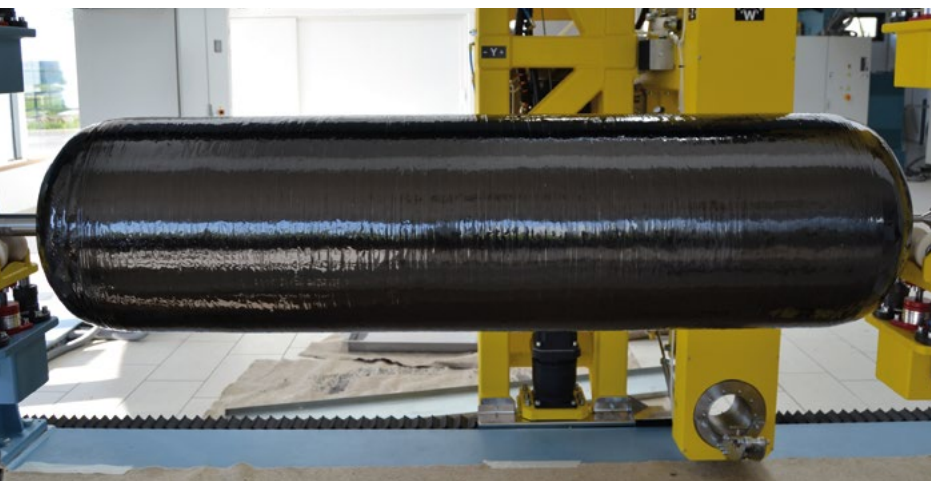
de la recherche et des partenariats avec l'industrie : AMETISTE, pour la caractérisation mécanique des matériaux, des surfaces et des structures dans une large gamme de dimensions et de fréquences, et MIFHySTO, qui regroupe des équipements de microfabrication mécanique, de fonctionnalisation de surface et d'hybridation avec des procédés de type salle blanche, pour la réalisation de composants à l'échelle submillimétrique.

Deux projets concernant le stockage de l'hydrogène portent l'un sur l'allègement de réservoirs en carbone pour l'aviation, l'autre sur l'utilisation de matériaux biosourcés pour le stationnaire

Des expériences concluantes ont été menées sur la base de ce modèle au Synchrotron SOLEIL à Gif-sur-Yvette (91), donnant aux chercheurs la satisfaction de percevoir les signaux lumineux attendus. L'expérience combine de manière inédite manipulations mécaniques et optiques, en environnement ultravide. Le matériau utilisé est du nitrure de silicium, couramment employé en micro-électronique ; la modification chimique en surface est obtenue par la greffe d'une molécule qui change de forme lorsqu'elle est éclairée par des UV. Le programme PEPS a permis de donner corps aux intuitions de Fabien Amiot, qui espère poursuivre ces travaux prometteurs pour la mécanique des matériaux.

SOLUTIONS DE STOCKAGE HYDROGÈNE

Le plan « France relance » annoncé en septembre 2020 par le Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, lui, a été mis en place pour favoriser les collaborations entre le monde académique et l'entreprise. Les contrats partenariaux conclus dans ce cadre prévoient ainsi qu'un salarié puisse bénéficier des compétences et équipements d'un laboratoire de recherche, ou qu'un doctorant mène ses travaux sur le terrain de l'entreprise. C'est au titre de ce programme que l'équipe MAT'ÉCO dirigée par Vincent Placet a obtenu le financement de deux projets, menés chacun sur 24 mois avec l'entreprise MaHyTec de Dole (39). Spécialisée dans la mise au point et la commercialisation de solutions de stockage pour l'hydrogène, acteur historique du domaine, MaHyTec tient ses origines de FEMTO-ST. Créée en 2008 par des chercheurs de l'institut comtois, elle a rejoint en 2021 le groupe allemand HENSOLDT. Elle entretenait des relations de partenariat depuis plusieurs années avec NEXEYA, la partie française du groupe. Toujours très actives, les collaborations entre l'Institut FEMTO-ST et MaHyTec ont donné lieu, dans le cadre du plan national, à la mise en place du projet Allegro, sur l'allègement de réservoirs hydrogène en carbone pour l'avion du futur, et du projet Matriosca, sur l'utilisation de matériaux biosourcés dans des solutions de stockage pour le stationnaire. Gaz le plus léger qui soit, l'hydrogène doit être comprimé pour gagner en densité et baisser en encombrement. Dans ce cas, pour contenir la pression en toute sécurité et écarter le moindre risque de rupture



Réservoir en fibres de carbone réalisé par la société MaHyTec selon le procédé de fabrication de l'enroulement filamentaire, une technologie et un savoir-faire transférés du DMA vers MaHyTec lors de la création de l'entreprise.

du matériau, le réservoir est renforcé, et sa masse devient plus importante. Les chercheurs et les industriels mobilisés sur le projet Allegro veulent trouver le meilleur compromis possible entre les variables pression du gaz, volume embarqué et masse du réservoir, en vue d'équiper de façon optimale les futurs avions à hydrogène. Actuellement, la masse d'hydrogène embarqué représente 6 % de la masse des réservoirs : l'ambition est au minimum de doubler ce chiffre. Les recherches s'orientent vers de nouvelles fibres de carbone très haute performance, qui seront testées et caractérisées pour éprouver la résistance qu'elles seront

capables d'opposer à une pression minimale de 700 bars, soit trois cents fois celle d'un pneu de voiture. Le projet Allegro est porté par Frédéric Thiébaud et Dominique Perreux pour l'équipe MAT'ÉCO.

RÉSERVOIR VERT

Si le carbone, réputé pour ses propriétés mécaniques alliées à une grande légèreté, est un matériau d'intérêt majeur pour les problématiques d'énergie embarquée, pour des applications stationnaires les chercheurs privilégient la piste des matériaux biosourcés : au sol, les réservoirs destinés à l'alimentation énergétique des bâtiments peuvent être

HYDROGÈNE ET MÉCANIQUE APPLIQUÉE, UNE HISTOIRE DE VINGT ANS

Le Département mécanique appliquée est un acteur de longue date de la recherche sur l'hydrogène en Franche-Comté, au même titre que le département ENERGIE, tous deux développant des projets autour de problématiques complémentaires à l'Institut FEMTO-ST depuis vingt ans. Les chercheurs du DMA concentrent leurs travaux dans deux directions : le stockage de l'hydrogène sous forme solide grâce à des hydrures métalliques, et le stockage haute pression, ou hyperbare, de l'hydrogène gazeux. Le DMA bénéficie de locaux dédiés à Besançon, comprenant notamment un banc de pression à 700 bars, un banc de perméation au gaz pour tester la diffusion de l'hydrogène dans les matériaux, et un banc de cavitation, ce dernier donnant la possibilité de vérifier

le comportement des matériaux constitutifs du *liner* d'un réservoir hyperbare soumis à des variations de pression de l'hydrogène. Stockage sous forme gazeuse ou solide, si chaque solution présente des caractéristiques propres, les recherches sont guidées par les mêmes impératifs : tester et caractériser des matériaux et des procédés pour gagner en fiabilité, en masse, en volume et en consommation énergétique, trouver les pistes prometteuses pour que la filière hydrogène puisse consolider son développement en termes de coût, de sécurité et d'impact sur l'environnement. C'est sur ce dernier aspect qu'insiste le projet national Hyperstock, coordonné par David Chapelle au DMA. Hyperstock est l'un des sept projets de R&D retenus au titre du

Programme et équipement prioritaire de recherche sur l'hydrogène décarboné (PEPR-H₂ piloté par le CEA et le CNRS), qui bénéficie d'une dotation globale de 80 millions d'euros. « Le DMA a toujours été engagé dans les actions et les organisations qui se sont succédé pour construire une communauté hydrogène en France. Dans le contexte du PEPR, Hyperstock donne encore plus de visibilité à notre équipe ; c'est un coup de projecteur sur nos activités et une reconnaissance pour le travail déjà réalisé », commente David Chapelle. Doté d'un budget de 3,6 millions d'euros sur cinq ans (2022-2027), Hyperstock est piloté par l'université de Franche-Comté, financé par France 2030 et suivi par l'Agence nationale de la recherche (ANR).

Les matériaux biosourcés aussi sont impliqués dans la recherche de solutions de stockage pour l'hydrogène

de dimensions plus imposantes, et donc de plus basse pression, ce qui autorise d'autres options. Se tourner vers des matériaux et des procédés à faible impact environnemental est un axe de développement inscrit dans l'ADN de l'équipe MAT'ÉCO, pour laquelle le projet Matriosca représente un nouveau défi. Et pour l'entreprise MaHyTec, ce programme mené sur deux ans est une opportunité de développer ses activités dans une nouvelle direction.

« La paroi des réservoirs hydrogène de types III et IV est multicouche, elle comporte une partie interne métallique ou polymérique recouverte d'une enveloppe enroulée et constituée de matériaux composites », explique Vincent Placet, responsable du projet à MAT'ÉCO. « La paroi des réservoirs de type V sera faite d'un matériau composite monobloc. Dans le cadre de Matriosca, nous travaillons à la mise au point de cette enveloppe nouvelle génération à partir de polymères renforcés de fibres de lin. » Cette orientation implique en premier lieu de tester les performances des matériaux biosourcés lorsqu'ils sont placés dans les conditions extrêmes que représente le stockage d'hydrogène. Une première étape servant l'ambition des chercheurs et industriels de créer le premier réservoir « vert » pour les besoins du stationnaire.

QUELLE CONSOMMATION D'ÉNERGIE POUR LA FABRICATION D'UNE MONTRE MÉCANIQUE ?

Dans une région de tradition horlogère et à une époque où le développement durable est devenu une priorité, cette question revêt une importance toute particulière. Elle s'est posée à David Weber, ingénieur en mécanique au département d'ingénierie horlogère de la HE-Arc, et aux étudiants IDE3-csm, dans le cadre du cours Analyse cycle de vie produit, qu'il a accompagnés lors d'une étude à ce sujet. « L'objectif était d'établir un bilan global de la consommation énergétique et de l'émission de CO₂ de chacun des composants d'une montre mécanique, pour déterminer ensuite sur quelles étapes du cycle de vie du produit il est possible d'agir. » L'analyse prenait en compte les matériaux utilisés pour la réalisation ainsi que les procédés de fabrication de base, mais sans décoration ni luxe particuliers. Platine, pont, rouages, lunette, cadran, aiguilles, verre... tous les composants du mouvement et de l'habillage ont été passés au crible du logiciel

Granta EduPack, qui propose à des fins pédagogiques une base de données complète de matériaux et de processus.

Les procédés de transformation de la matière, le type de production électrique d'un pays, le transport, les *process* de fabrication, le parc machine sont autant de paramètres intervenant dans le coût énergétique d'un objet manufacturé ; ils n'ont pas pu tous être considérés mais il a tout de même été possible d'établir un premier modèle correspondant de manière réaliste à des conditions de production standard en Suisse.

Les résultats de l'étude montrent que l'énergie totale requise pour la fabrication d'une montre est de 22,2 MJ, équivalents à l'énergie nécessaire pour chauffer 66 litres d'eau de 20°C à 100°C. Le CO₂ total émis est de 1,52 kg, ce qui correspond à une distance de 12,9 km parcourue par un véhicule moderne émettant 118 grammes de CO₂ par kilomètre.

« Ces valeurs sont inférieures à ce qui pourrait être intuitivement attendu. Mais il est plus intéressant de comparer



Photo Rudenkois / Shutterstock

des proportions plutôt que des valeurs absolues. Notre analyse montre que 86 % de l'énergie requise est incorporée aux matériaux, plus exactement aux pièces brutes qui seront transformées pour la fabrication. » Le choix du matériau et de son origine revêtent donc une importance majeure. « À titre d'exemple, l'acier inoxydable recuit AISI 316L, non recyclé, a une énergie incorporée de 73-80,5 MJ/kg. Avec un taux de recyclage de l'acier d'environ 50 %, l'énergie incorporée baisse de 40 % », précise David Weber.

Autre enseignement de l'analyse : au stade de la production, 61 % de l'énergie sont utilisés pour la fabrication du verre saphir, alors que ce composant ne représente que 7 % du poids du boîtier. Ces conclusions ont d'ores et déjà retenu l'attention d'un industriel spécialisé, Scientific Visual, qui souhaite éprouver les options qu'il propose pour optimiser la découpe des verres, en sélectionnant par scanner les zones ne présentant aucun défaut dans des carottes de saphir.

Une telle étude peut aider à opérer certains choix pour produire différemment ou simplifier la fabrication de certaines pièces en vue de réduire l'empreinte écologique des *process* industriels. « Il est prévu que cette thématique soit poursuivie au sein du groupe Ingénierie horlogère, notamment en la complétant avec des mesures réelles, effectuées sur de vraies machines, pour prendre en compte les spécificités des fabricants et répondre le mieux possible à leurs problématiques », remarque David Weber. Les résultats complets de l'étude sont disponibles sur le site de la Haute Ecole Arc : www.he-arc.ch. À noter que l'entreprise Scientific Visual s'est déjà basée sur cette étude pour démontrer l'attrait de la technologie de scannage de carottes saphir qu'elle développe, une thématique qu'elle présentera lors du Congrès international de chronométrie en septembre.

PETITS FORMATS, GRANDES AMBITIONS

Dans le domaine microtechnique, les gains en énergie de fabrication sont hautement possibles, comme l'ont prouvé les idées novatrices des ingénieurs et chercheurs de l'école neuchâteloise. La Micro5 est l'exemple type d'une nouvelle façon d'envisager la production ; la station d'usinage aux dimensions d'une machine à café s'est transformée en succès commercial très vite après la présentation de son premier prototype en 2016 par Claude Jeannerat, Philippe Liscia et leur équipe. Construite sur cette pierre fondatrice sous l'impulsion de Philippe Grize, la micro-usine va encore plus loin et développe depuis 2018 un concept révolutionnaire de procédés industriels autonomes et interconnectés, dans les cases d'une sorte de très grande étagère représentant à elle seule un système de production complet.

Ces réalisations prévoient de ramener à des dimensions plus acceptables les machines certes très performantes, mais démesurées proportionnellement à la taille des pièces qu'elles produisent, que l'industrie emploie aujourd'hui. Certaines machines pèsent jusqu'à trois tonnes alors qu'elles usinent de minuscules composants horlogers ; leur consommation énergétique est en majeure partie consacrée à leur refroidissement, et à quelques pourcents seulement aux besoins de la production... Le pari de la micro-machine, aujourd'hui Micro5, était de limiter ses dimensions à cinq fois celle des composants qu'elle était chargée de produire. Dédiée elle aussi aux domaines des microtechniques, la micro-usine suit le même principe et se développe au cœur du MicroLean Lab, une plateforme d'expérimentation qui à la HE-Arc accueille une trentaine d'entreprises dans un partenariat public / privé. Outre son faible encombrement et sa consommation énergétique modeste, l'agilité et la digitalisation sont deux caractéris-

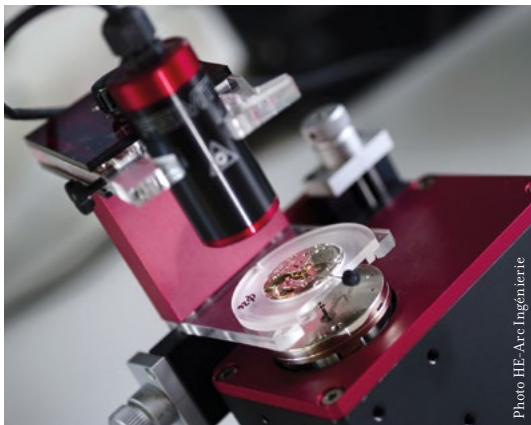


Photo HE-Arc Ingénierie

Au stade de la production, 61 % de l'énergie sont utilisés pour la fabrication du verre saphir, alors que ce composant ne représente que 7 % du poids du boîtier



La micro-usine est développée au MicroLean Lab de la Haute Ecole Arc.

Outre son faible encombrement et sa consommation énergétique modeste, l'agilité et la digitalisation sont deux caractéristiques de l'appartenance de la micro-usine à l'industrie 4.0

CAO / FAO : conception / fabrication assistée par ordinateur

tiques de l'appartenance de la micro-usine à l'industrie 4.0. La qualité prédictive des pièces, la maintenance prédictive des machines et l'optimisation des flux sont les trois axes de travail sur lesquels se concentre actuellement l'équipe chargée de développer ses fonctionnalités, ainsi que l'explique Nabil Ouerhani, directeur adjoint, responsable Ra&D et formation continue à la HE-Arc : « Des observations menées en continu permettent de corriger le positionnement des outils en fonction de leur usure ou des effets de la dilatation produite par des changements de température. Toutes les informations utiles sont relayées par des capteurs couplés à des algorithmes qui témoignent de la qualité d'usinage en temps réel. » En raison des faibles dimensions des machines, mêmes les variations de consommation d'électricité sont un indicateur de comportement des outils et un marqueur de qualité des pièces en cours de fabrication. D'autres capteurs témoignent de l'état de fatigue des éléments composant les machines, des

données utiles à la prédiction de leur durée optimale de fonctionnement.

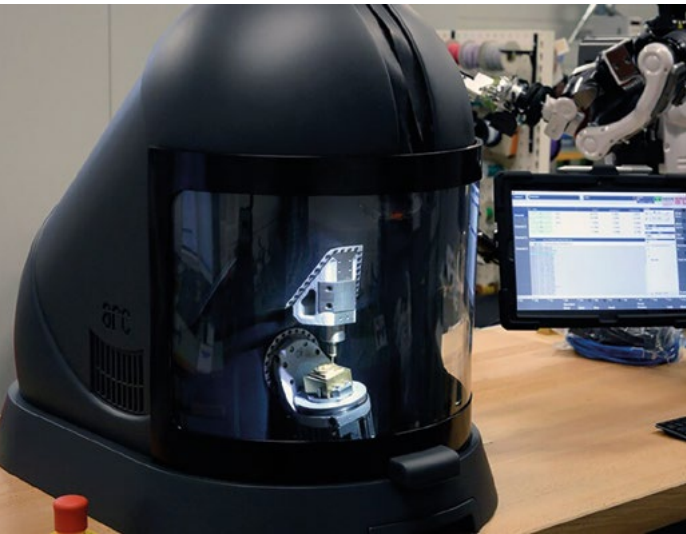
« Il est ainsi possible de planifier le remplacement de composants défectueux sans arrêter les machines et donc sans impacter la production. »

La micro-usine est un système connecté dans laquelle chaque fonction, impression 3D, gravure, assemblage, soudure..., occupe une niche.

Les liaisons par voies numérique et robotique entre ces différents postes, regroupées sous le terme de *transitique*, demandent une maîtrise à la fois mécanique et informatique des procédés. Les technologies et compétences convoquées garantissent un bon ordonnancement des ordres de fabrication, un transfert optimisé des pièces par navettes robotisées, un suivi de production instantané, une reconfiguration des niches en fonction des productions à mettre en œuvre. Autant de possibilités encore améliorées par les simulateurs que sont les jumeaux numériques.

UN JUMEAU NUMÉRIQUE POUR UNE FABRICATION ZÉRO DÉFAUT

La création de jumeaux numériques industriels donne la possibilité de suivre le fonctionnement d'une machine sur un double virtuel qui reproduit ses caractéristiques, ses paramétrages et son environnement, pour mieux surveiller un *process* ou anticiper la survenue de pannes. Des jumeaux numériques peuvent de la même manière être créés pour dupliquer virtuellement une chaîne de travail, voire une entreprise entière. L'avatar que l'équipe de Raphaël Montavon développe à la Haute Ecole Arc concerne la fabrication elle-même. De façon inédite, il permet d'aller beaucoup plus loin que les modèles CAO ou FAO habituellement utilisés en entreprise, en utilisant les potentialités de l'intelligence artificielle, notamment du *machine learning*. « La compréhension du métier et du fonctionnement de la machine est essentielle pour donner les bonnes informations au modèle. Il s'agit de mettre le savoir-faire du mécanicien dans la chaîne numérique. » L'objectif est de rendre les machines autonomes et capables de produire des pièces sans défaut, du premier coup. De nombreuses perturbations sont susceptibles d'intervenir dans



La station d'usinage Micro5, de la taille d'une machine à café. Photo HE-Arc Ingénierie

un *process* de fabrication et nécessitent l'intervention régulière d'un mécanicien. Efforts de coupe, rigidité de la machine, accélération et freinage de la commande numérique, usure des outils, vibrations, variations de température sont autant de paramètres que le modèle numérique prend en compte. La trajectoire d'un outil de coupe, par exemple, dépend de tous ces critères, et doit régulièrement être corrigée. Les données agrégées par le jumeau numérique permettent de prédire les perturbations quasiment en temps réel, d'intégrer les corrections à apporter au *process* et de modifier le code d'entrée informatique qui détermine le fonctionnement de la machine.

La Micro5 s'est prêtée à l'élaboration d'un prototype de jumeau numérique, dans un projet de recherche qui vient de se terminer et débouche sur la preuve de concept d'un procédé très novateur. L'étape suivante consistera à sortir du *machine learning* des lois et des formules directement applicables au *process*, pour réduire le volume des données à traiter à chaque mise en œuvre. Du côté de l'industrie, Dassault Systèmes figure dans les premières entre-

prises à suivre de près cette avancée technologique et soutient l'équipe de la Haute Ecole Arc, une marque d'intérêt de bon augure pour la valorisation future du procédé. Pour en savoir plus : <https://microleanlab.ch>

L'utilisation répétée des machines vibrantes, tenues ou guidées à la main, est susceptible de provoquer l'apparition du syndrome de Raynaud

MÉCANIQUE APPLIQUÉE AUX TISSUS VIVANTS

L'équipe BIOMÉCAT transfère aux tissus vivants les méthodes développées en mécanique sur les matériaux classiques, pour des applications en santé et en sécurité du travail. L'un de ses projets s'intéresse aux effets délétères des machines vibrantes, tenues ou guidées à la main, sur la santé de leurs utilisateurs.

Les ponceuses, visseuses et autres machines du même acabit fonctionnent à des fréquences supérieures à 50Hz. L'exposition répétée aux vibrations générées par ces outils est susceptible de provoquer l'apparition du syndrome de Raynaud, plus connu sous le nom de « maladie des doigts blancs ». Cette affection du réseau périphérique se traduit à un stade avancé par des crises répétées et des lésions handicapantes, et peut conduire dans les cas extrêmes à une amputation des doigts.

« En réponse aux vibrations, certaines cellules de la couche interne de l'artère digitale prolifèrent et provoquent un épaississement des tissus qui empêche la bonne irrigation du sang », explique Emmanuelle Jacquet, responsable de l'équipe Biomécat.

La mise en évidence et la compréhension précise des interactions à l'origine du phénomène proviennent d'un modèle numérique fondé sur l'exploitation de données expérimentales : les expériences menées *in vitro* portent d'une part sur le comportement et l'environnement mécaniques de l'artère, d'autre part sur la cinétique des cellules, incluant leur prolifération, leurs migrations, et le processus d'apoptose qui provoque leur mort. Le modèle multi-agent élaboré tient ainsi compte des différents facteurs physiques et biologiques qui entrent en jeu dans la croissance tissulaire à l'intérieur des artères. « Il permet de comprendre et de quantifier des processus qui se combinent, et de connaître leur importance relative. » Soumis au modèle, trois scénarios simulent sur dix ans l'évolution du remodelage de l'artère : en l'absence de vibrations, le nombre de cellules impliquées dans la croissance tissulaire interne de l'artère ne change pas ; l'exposition à des vibrations une heure par jour induit une légère baisse de surface de la lumière de l'artère, de l'ordre de 5 %, correspondant à une

prolifération, également légère, des cellules ; avec un taux d'exposition aux vibrations de 4 heures par jour, la surface de la lumière chute de 30 %, prouvant l'obturation progressive de l'artère au fil du temps. Des données expérimentales complémentaires viendront alimenter le modèle et produire de nouveaux résultats dans ce projet mené en collaboration avec l'Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS). L'objectif à terme est de mieux protéger les salariés contre le risque vibratoire vasculaire, en contribuant à l'amélioration des normes de mesurage de la dose vibratoire reçue par les travailleurs.

Un autre projet concerne les mécanismes de rupture du périnée pendant l'accouchement. Il est mené en partenariat avec le service de gynécologie-obstétrique du CHU de Besançon, qui est l'un de ceux qui, en France, pratiquent le moins l'épisiotomie et mettent en avant des techniques d'accouchement évitant ce geste chirurgical. Ainsi le recours à l'incision du périnée concerne-t-il moins de 1 % des accouchements pratiqués au CHU de Besançon, quand ce taux atteint 20 à 25 % dans certaines maternités. Là encore, l'élaboration d'un modèle numérique enrichi de données expérimentales est au centre du projet ; il fournira des arguments scientifiques aux cliniciens pour mieux valoriser et diffuser des pratiques par ailleurs éprouvées au quotidien. « L'objectif de la recherche est d'anticiper au maximum la réponse des tissus pour établir

des prédictions sur leurs déchirures possibles. Il s'agit en premier lieu de caractériser d'un point de vue mécanique les différentes couches de peau et de muscles qui composent le périnée. »

Tiguida Kadiakhe et Marine Lallemand sont toutes deux doctorantes au DMA, leurs études se complètent pour comparer le comportement des tissus en dehors et lors de l'accouchement. « Le modèle animal retenu pour l'étude des tissus *in vitro* est celui du cochon, à partir d'échantillons prélevés sur des animaux passés à l'abattoir », explique Emmanuelle Jacquet. La caractérisation de ces tissus permettra de définir le seuil de sollicitation au-delà duquel un risque de rupture est avéré. « L'hypothèse de travail repose sur le modèle de l'hyperélasticité en mécanique, qui traduit le comportement non linéaire des tissus en grandes déformations. »

Les premiers résultats portant sur l'animal seront présentés au Congrès français de mécanique qui aura lieu fin août à Nantes. Complétant cette approche, des observations et mesures sur les tissus humains sont ensuite envisagées lors d'accouchements à la maternité du CHU de Besançon et dans le cadre d'un protocole validé par le comité de protection des personnes. Réalisées par caméra auprès de parturientes bien évidemment consentantes, ces mesures non invasives devraient permettre de constater et de quantifier les champs de déplacement des tissus à partir des modifications des marques naturelles présentes sur la peau du périnée lors de l'accouchement.

Du domaine de l'hydrogène à celui de la santé en passant par les micro-techniques, de l'emploi de nouveaux matériaux à la définition de processus de fabrication innovants, ces focus donnent un aperçu de la variété et du dynamisme des recherches menées dans l'Arc jurassien en mécanique, une discipline au cœur des défis sociétaux de demain et à retrouver sur www.insis.cnrs.fr/fr/2021-2022-la-mecanique-du-futur.



Photo Anna Berthik / Shutterstock

Contacts :

**Département mécanique appliquée
Institut FEMTO-ST**

UFC / ENSMM / UTBM / CNRS

Équipe ECTO

Fabien Amiot

Tél. +33 (0)3 81 66 60 14

fabien.amiot@femto-st.fr

Équipe MAT'ÉCO

Vincent Placet / David Chapelle

Tél. +33 (0)3 81 66 60 55 / 60 29

vincent.placet@univ-fcomte.fr

david.chapelle@femto-st.fr

Équipe BiomécaT

Emmanuelle Jacquet

Tél. +33 (0) 3 81 66 60 19

emmanuelle.jacquet@univ-fcomte.fr

Haute Ecole Arc Ingénierie

Groupe Ingénierie horlogère

David Weber

Tel: +41 (0)32 930 22 77

david.weber@he-arc.ch

Groupe technologies d'interaction

Nabil Ouerhani

Tel: +41 (0)76 557 22 08

nabil.ouerhani@he-arc.ch

Groupe Conception des moyens

de production

Raphaël Montavon

Tel: +41 (0)32 930 22 28

raphael.montavon@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