

EN DIRECT

LE JOURNAL DE LA RECHERCHE ET DU TRANSFERT DE L'ARC JURASSIEN - NUMÉRO 308 - SEPTEMBRE-OCTOBRE 2023



GRAND FORMAT [COULISSES DE LA SCIENCE]

DES OUTILS POUR LA RECHERCHE

POSTES ET CARRIÈRES

Profession : préfet

RESTAURATION ÉCOLOGIQUE

Des îlots de biodiversité dans les plantations
de palmiers à huile

PUBLICATION

Français en forme(s)

RÉVOLUTION [TECHNOLOGIQUE]

Les promesses de l'impression 4D



EN DIRECT

NUMÉRO 308 - SEPTEMBRE-OCTOBRE 2023

3 | ACTUALITÉS

- Productions pharmaceutiques innovantes à Besançon
- Dollar américain ou yuan chinois ? Quand la physique théorique compte les points...
- Profession : préfet
- Hippocrate, père de la médecine ?
- Des îlots de biodiversité dans les plantations de palmiers à huile
- Quelle place pour les CPE ?
- Rencontre autour de no(s) futur(s)
- Français en forme(s)
- Feuilletage temporel

12 | OBSERVATOIRE [À CIEL OUVERT]

Forêts sentinelles comtoises

14 | RÉVOLUTION [TECHNOLOGIQUE]

Les promesses de l'impression 4D

16 | GRAND FORMAT [COULISSES DE LA SCIENCE]

Des outils pour la recherche

LUTTE CONTRE LE CANCER

PRODUCTIONS PHARMACEUTIQUES INNOVANTES À BESANÇON

En marge des collectes qu'elle organise et de sa mission de gestion des produits sanguins et dérivés, son rôle le plus connu du grand public, l'Établissement français du sang (EFS) développe des activités de recherche sur l'ensemble du territoire et assure la fabrication des médicaments issus de ces recherches. L'EFS est un établissement pharmaceutique composé d'un siège et de quatre plateformes de production de médicaments en France : Grenoble, Créteil, Nantes et Besançon. La plateforme bisontine de l'EFS BFC est depuis sept ans habilitée à produire des médicaments de thérapie innovante (MTI), un aboutissement de nombreuses années de recherches en immunothérapie menées au laboratoire RIGHT. Utiliser les cellules du système immunitaire comme un traitement est un domaine dans lequel les chercheurs bisontins se sont montrés précurseurs, et qui a reçu un écho favorable auprès du tissu industriel et académique local, en même temps qu'il a bénéficié de soutiens financiers, notamment de la part de la Région Bourgogne - Franche-Comté.

Dans les salles blanches dont la plateforme MTI est équipée, Jeanne Galaine est pharmacien adjoint ; elle participe à la certification des lots de MTI permettant d'attester que ceux-ci ont été fabriqués, contrôlés et identifiés conformément à la réglementation des Bonnes pratiques de fabrication pharmaceutiques (BPF) et dans le respect des exigences retenues pour l'autorisation de recherche biomédicale. Mise à disposition à l'EFS par le CHU de Besançon pour son activité pharmaceutique, Jeanne Galaine dispense aussi des cours à l'Université de Franche-Comté et mène des travaux de recherche

à l'unité RIGHT. La chercheuse vient d'obtenir un financement de l'ordre de 30 000 € de la part de la Ligue contre le cancer pour la mise au point d'un modèle de souris permettant d'évaluer *in vivo* l'efficacité et la sécurité de CAR T-Cells allogéniques rendus universels. « Le projet que nous développons avec Yann Godet est complémentaire aux travaux que mènent au laboratoire RIGHT les équipes de Christophe Ferrand et Marina Deschamps, et de Francine Garnache-Ottou, respectivement à l'origine des *start-up* Cancel Therapeutics et Carla Biotherapeutics. » Les recherches de ces équipes portent sur le développement de nouveaux récepteurs chimériques ou CAR (*Chimeric Antigen Receptor*), aptes à reconnaître de manière spécifique les cellules tumorales ; l'ADN codant pour ces récepteurs CAR est ensuite introduit dans les lymphocytes T, des globules blancs redoutables du système immunitaire capables de s'attaquer à la fois aux pathogènes comme les virus et les bactéries, et aux cellules cancéreuses : à la manière d'un GPS, le récepteur CAR guide le lymphocyte T vers les cellules cancéreuses pour qu'il les détruise, et qu'il ne détruise qu'elles.

Les CAR T-Cells, ainsi dénommés, sont de purs produits de la thérapie cellulaire et génique. Les lymphocytes T sont prélevés dans le sang des patients, modifiés, puis sont réinjectés au même patient, une opération parfaitement maîtrisée mais qui suppose plusieurs semaines de délai avant de pouvoir être disponible. Le projet porté par Jeanne Galaine vise à optimiser cette thérapie, en préparant en amont des lymphocytes T « universels », modifiés avec le CAR et susceptibles de remplir leur rôle

de la même manière que ceux du patient. Les lymphocytes T proviennent ici de sang placentaire, voire du sang de donneurs, dont on retire les molécules allogéniques pour qu'ils soient compatibles avec le sang de tous les patients. Congelés, ils pourraient constituer une



banque de CAR-T Cells et seraient disponibles à la demande rapidement. Jeanne Galaine souligne que la stratégie de CAR-T Cells allogéniques pourrait autoriser la production de plusieurs lots de MTI au cours de la même campagne, ce qui permettrait d'abaisser les coûts unitaires des MTI et de rendre les traitements plus abordables. Cette stratégie promet des avantages en termes non seulement de coût, mais aussi d'efficacité, puisqu'elle fait appel à des lymphocytes T de meilleure qualité, plus jeunes, et n'ayant pas été affectés par les traitements anticancéreux des premières lignes thérapeutiques. Les tests *in vivo* qui seront prochainement réalisés au laboratoire RIGHT devraient en valider le concept.

Contact :
Laboratoire RIGHT - EFS / UFC / INSERM
Jeanne Galaine
Tél. +33 (0)6 69 72 50 06
jeanne.galaine@efs.sante.fr

COMMERCE INTERNATIONAL

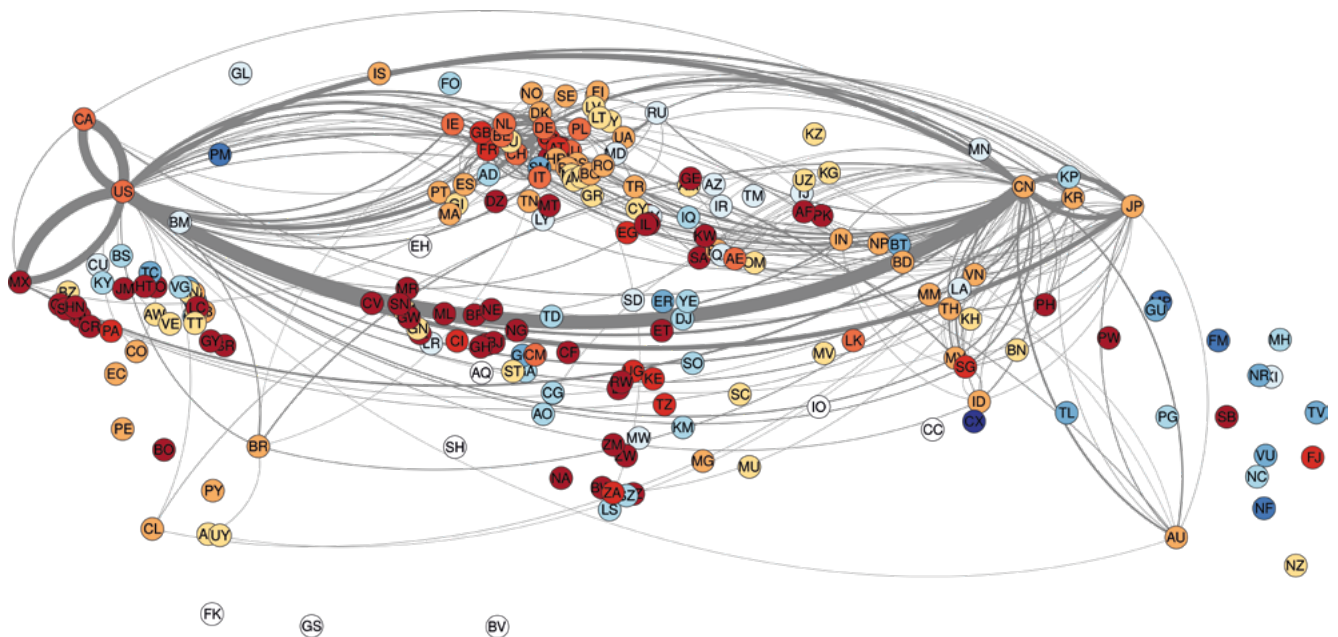
DOLLAR AMÉRICAIN OU YUAN CHINOIS ? QUAND LA PHYSIQUE THÉORIQUE COMPTE LES POINTS...

S'il règne en maître sur le commerce international depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, le dollar américain pourrait bien voir sa place menacée par d'autres monnaies, en particulier le yuan chinois. La reconfiguration des échanges et des liens entre les pays ces dernières années, la décision de certaines firmes d'effectuer leurs transactions en yuan et récemment le souhait formulé par le président brésilien Lula de voir les BRICS¹ créer leur propre monnaie sont autant d'indicateurs montrant l'ambition de certains à mettre un terme à la domination de la devise américaine sur les marchés mondiaux. Une tendance mise à l'épreuve des modèles mathématiques par les chercheurs en physique théorique de l'Institut UTINAM José Lages

et Célestin Coquidé, en post-doctorat, et de l'université de Toulouse, forts de leur expérience en matière de réseaux complexes et de leur habileté à manier les algorithmes adéquats. « Nous avons voulu voir si la structure du commerce international actuel est prête à accueillir le yuan ou une monnaie BRICS comme nouvelles devises dominantes », explique José Lages. Les chercheurs se sont basés sur les chiffres des exportations et des importations fournis par la banque de données Comtrade de l'Organisation des Nations Unies, qui recense l'échange de pas moins de 40000 produits dans le monde, des matières premières aux machines-outils en passant par les matériaux de construction. Leurs projections sont purement mathématiques, et ne prennent aucunement en

compte de quelconques considérations politiques. « À partir du modèle binaire d'Ising, selon lequel 0 correspond au dollar et 1 au yuan, on attribue une monnaie d'échange à tous les pays de manière aléatoire, hormis les deux pays de référence qui conservent chacun la sienne. Cette distribution est soumise aux algorithmes qui déterminent, en lien avec les chiffres d'import/export, si le pays a intérêt à conserver cette monnaie ou à basculer vers l'autre, pour réaliser ses échanges commerciaux. » Les sphères d'influence ainsi dessinées pour 2019 donnent un net avantage au yuan dans l'ensemble des pays asiatiques, la Russie, l'Océanie, une grande partie du Moyen-Orient et la majorité des pays d'Afrique et

¹ Brésil, Russie, Inde, Chine et Afrique du Sud



Réseau du commerce international. La largeur d'un lien entre deux pays est proportionnelle au volume de produits échangés entre ces deux pays durant l'année 2016. Seuls les liens représentant plus de 10 milliards de dollars sont indiqués.

d'Amérique du Sud, le dollar restant prépondérant en Amérique du Nord et en Europe.

« La configuration est très significativement différente de la projection réalisée pour l'année 2010. L'avantage à commercer en dollar était encore marqué pour la Russie, une grande partie de l'Afrique et la quasi-totalité du continent sud-américain. »

Une redistribution complète des cartes en dix ans à peine, qui confirme la potentialité du yuan comme monnaie de référence dans le réseau des échanges internationaux. L'inclusion de la monnaie BRICS dans le modèle montre qu'elle pourrait également capter d'autres pays que ceux « mis dans la balance » en premier lieu pour réaliser l'expérience, confirmant, comme le yuan, son potentiel d'influence.

« Ces statistiques concernent la structure du réseau international d'import-export, et elle seule. D'un point de vue géopolitique, le yuan aurait à souffrir de l'opacité de la politique de la Chine et du manque de confiance en ses institutions financières pour s'imposer, mais c'est ici une toute autre histoire. »

Ces recherches en physique théorique ont récemment été présentées lors d'un colloque international, où ils ont retenu l'attention des économistes. Sur la base des résultats produits, le modèle statistique devrait progresser en intégrant d'autres données, telles que la capacité d'investissement des États ou des multinationales, ou la signature de nouveaux traités commerciaux, pour une vision plus globale de l'économie mondiale.

Contact :
Institut UTINAM
Université de Franche-Comté / CNRS
José Lages
Tél. +33 (0)3 81 66 66 67
jose.lages@utinam.cnrs.fr

POSTES ET CARRIÈRES

PROFESSION : PRÉFET

Lors de la profonde réorganisation de l'État qu'il opère à sa prise de pouvoir, Napoléon met en place des préfets de départements pour qu'ils assurent l'ordre public et relaient les directives du Consulat sur leurs territoires respectifs. C'était en 1800. Aujourd'hui, le préfet est toujours le représentant du gouvernement, auquel son statut l'oblige à une absolue subordination. Fonctionnaire éminent de la République en même temps que figure proche sur le terrain, le préfet est cependant assez mal connu. C'est pour combler cette faille que Henri Bouillon en a fait le sujet de ses études postdoctorales en droit public, et que, enseignant-chercheur à l'uFC /CRJFC, il continue à s'y intéresser. Henri Bouillon a signé un « livre étape » sur ses travaux : *Le préfet, histoire, statut et fonctions*, est paru chez L'Harmattan en fin d'année dernière, et sa synthèse est affichée sur le site du gouvernement. Le livre présente de manière efficace et complète le rôle du préfet depuis la création de la fonction, un prisme par lequel apparaît également l'évolution du fonctionnement de l'État. « Le préfet est garant de la volonté de l'État et du respect de la loi. Il représente tous les membres du gouvernement : même si l'armée a un fonctionnement à part, et que l'éducation nationale a son propre représentant en la personne du recteur, c'est un vrai défi pour lui que de faire appliquer toutes les décisions ministérielles. » Le préfet assure aussi un lien entre l'État et les collectivités locales : s'il est depuis les débuts un instrument d'autorité, il s'emploie aujourd'hui également à faciliter l'action locale, et exerce un rôle économique important. « L'État se défait de sa puissance au profit d'une démarche coopérative



Grand salon, préfecture du Doubs. Photo Malebre

avec son représentant, qui voit ses fonctions se renforcer. » L'une des évolutions récentes des prérogatives du préfet est le pouvoir de dérogation, datant de 2021, qui lui donne le droit de passer outre une règle nationale dans l'intérêt local, par exemple en matière d'urbanisme. Une autre de ses compétences concerne la fermeture d'un lieu de culte, un droit qui lui est conféré également depuis 2021.

DANS LA FAMILLE « PRÉFET »...

L'Île-de-France a longtemps été le seul département à recevoir l'affectation d'un préfet de police, né comme ses collègues territoriaux sous l'ère napoléonienne. Une exception qui a perduré jusqu'en 2013 : c'est à cette date que le préfet de police des Bouches-du-Rhône fait son apparition, rejoignant dans ses attributions le préfet de police de Paris. Le statut de préfet de région est né en 1964 ; il n'instaure pas vraiment de hiérarchie avec le préfet de département ; c'est le préfet du département chef-lieu de la région qui prend ce titre et ces

fonctions. Un dispositif que ne remet pas en cause la création des grandes régions en 2015 : Franck Robine, par exemple, est préfet de la région Bourgogne - Franche-Comté en même temps que préfet de la Côte d'Or. « De manière générale, les relations entre les préfets sont plutôt informelles et fondées sur la coopération. » Le sentiment d'appartenance à une équipe, à une famille, est cependant mis à mal depuis la suppression du corps préfectoral au 1^{er} janvier 2023. Dépossédés

de leur filiation historique, les préfets sont issus soit du corps désormais unique de la haute fonction publique, soit du secteur privé, et sont recrutés par contrat, pour neuf ans consécutifs au maximum. « Être préfet signifie aujourd'hui occuper un poste, et ne s'envisage plus comme une carrière. » La volonté du gouvernement est d'instaurer des passerelles entre les métiers de la fonction publique, et de favoriser la mobilité, le dynamisme, le renouveau des points de vue,

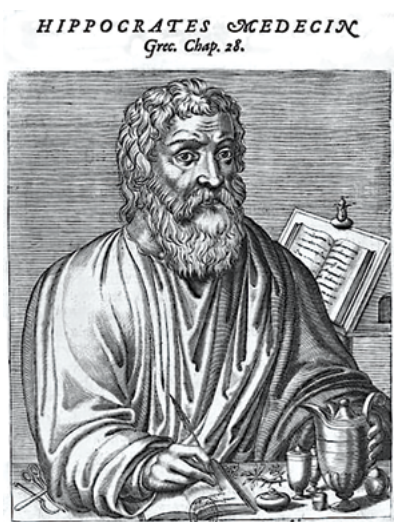
selon l'esprit *start-up nation* loué par le président français. Le préfet, comme le recteur, est susceptible d'être démis de ses fonctions du jour au lendemain, un attribut qui, lui, n'est pas nouveau.

Pour en savoir plus : Henri Bouillon, *Le préfet, histoire, statut et fonctions*, éditions L'Harmattan, 2022.

Contact :
Centre de recherches juridiques de
l'université de Franche-Comté – CRJFC
Université de Franche-Comté
Henri Bouillon
henri.bouillon@univ-fcomte.fr

HISTOIRE ANTIQUE

HIPPOCRATE, PÈRE DE LA MÉDECINE ?



Les murs des cabinets médicaux s'ornent parfois du serment d'Hippocrate, tout droit hérité des textes de l'Antiquité grecque, et que prononcent encore aujourd'hui les jeunes médecins à leur entrée en fonctions. Considéré comme le père de la médecine en Europe et de manière générale en Occident, Hippocrate est né sur l'île de Cos en 460 avant J.-C. et mort en Thessalie entre 375 et 351 avant J.-C. Il est connu pour l'approche rationnelle avec laquelle il aborde le corps humain et la maladie,

l'observation remplaçant chez lui les considérations religieuses ou magiques. Sa haute réputation de médecin et de maître d'enseignement a traversé les siècles jusqu'à devenir cette figure d'autorité que les médecins se lèguent de génération en génération depuis le XIX^e siècle.

« Pourtant la médecine d'Hippocrate a très peu à voir avec la médecine occidentale actuelle, et il faut l'aborder avec un autre regard », soutient Antoine Pietrobelli, enseignant-chercheur en grec ancien à l'université de Franche-Comté / ISTA, qui s'attache, à l'instar d'autres scientifiques, à déconstruire le discours admis, non pour réfuter la valeur du praticien de l'Antiquité, mais pour replacer son enseignement dans son contexte et aborder de manière plus juste l'histoire de la médecine ancienne. Antoine Pietrobelli édite, traduit et étudie les textes antiques, notamment ceux d'Hippocrate et de Galien, qui fut, au II^e siècle après J.-C., une autre grande figure de la médecine. Comme d'autres spécialistes du monde antique et de l'histoire de la médecine, il montre par l'étude des

textes que la réalité ne correspond pas au mythe que l'on a construit. « La médecine d'Hippocrate s'inscrit dans une continuité, et il y aurait du sens à la comparer à celles qui lui étaient contemporaines, comme les médecines chinoise, mésopotamienne ou indienne, avec lesquelles elle a des points communs. » Pour le chercheur, il convient d'inscrire Hippocrate dans l'histoire mondiale de la médecine plutôt que le présenter comme le précurseur qui aurait jeté les bases sur lesquelles se fonde la médecine d'aujourd'hui. « On dénombre une soixantaine de traités antiques de médecine dont certains sont antérieurs à lui, et d'autres n'apparaissent qu'à partir du V^e siècle après J.-C. » Une approche anthropologique et comparatiste qui nuance le rationalisme avec lequel la tradition moderne a voulu considérer la période antique et se forger un maître à penser.

Contact :
Institut des sciences et techniques
de l'Antiquité – ISTA
Université de Franche-Comté
Antoine Pietrobelli
antoine.pietrobelli@univ-fcomte.fr

RESTAURATION ÉCOLOGIQUE

DES ÎLOTS DE BIODIVERSITÉ
DANS LES PLANTATIONS DE PALMIERS À HUILE

En Indonésie, premier pays producteur d'huile de palme au monde, l'île de Sumatra est le théâtre d'une expérimentation scientifique totalement inédite : une cinquantaine d'îlots composés de six espèces locales d'arbres poussent au cœur des 140 hectares d'une plantation industrielle de palmiers à huile,

droits, sans pour autant nuire aux rendements de la plantation. Une logique gagnant-gagnant pour l'exploitation, et un pari réussi pour l'équipe internationale de scientifiques, parmi lesquels Delphine Clara Zemp, directrice du laboratoire de biologie de la conservation à l'université de Neuchâtel : « L'utilisation de

ces années, les chercheurs ont mesuré la diversité des espèces de micro-organismes du sol, bactéries et champignons, des espèces d'insectes et d'autres petits invertébrés, de plantes, d'oiseaux et de chauves-souris. « Nous avons aussi quantifié les impacts des îlots sur la régulation des cycles de l'eau, du carbone et des nutriments, sur la régulation du microclimat, sur la qualité du sol et la pollinisation, ainsi qu'en termes de contrôle des communautés biologiques et des espèces invasives », explique Delphine Clara Zemp.



pour tenter de restaurer la biodiversité mise à mal par la déforestation et l'instauration d'une telle monoculture. Au terme de cinq ans, l'expérience s'avère concluante, aussi bien pour l'environnement que pour l'industrie : même si elle n'est pas comparable à la formidable richesse que présente celle de la forêt tropicale originelle, la biodiversité a bien repris ses

ressources par les îlots arborés pour leur propre développement ne s'est pas faite au détriment de celui des palmiers à huile. Ce constat se vérifie même cinq ans après la mise en place de l'expérimentation, et cela sans apport d'engrais chimiques ou d'autres substances artificielles dans les îlots ». Dans l'étude environnementale très complète qu'ils ont menée au cours de

DES MILLIONS
D'HECTARES CONCERNÉS

Cette recherche a fait l'objet d'une publication en mai dernier dans la prestigieuse revue *Nature*, dont les signataires soulignent tous l'importance de préserver « l'irremplaçable biodiversité » de la forêt tropicale : « Éviter la déforestation doit rester la priorité absolue ». Mais pour les millions d'hectares déjà occupés par la culture des palmiers à huile en Indonésie ou en Malaisie, l'expérimentation invite à aller plus loin que dresser le constat d'un désastre écologique, et à mettre en place des solutions. « Même si la biodiversité « restaurée » est différente de celle que l'on trouve dans les forêts intactes, elle est souhaitable pour maintenir des agroécosystèmes fonctionnels. »

Contact :
Laboratoire de biologie de la conservation
Université de Neuchâtel
Delphine Clara Zemp
Tél. +41 (0)32 718 31 14
clara.zemp@unine.ch

RENTRÉE SCOLAIRE

QUELLE PLACE POUR LES CPE ?

Certains anciens élèves peuvent avoir en tête le souvenir du « surgé », le surveillant général qui au lycée contrôlait les absences et distribuait à l'occasion les punitions.

Si cette image peu gratifiante persiste dans la mémoire collective, le CPE, le conseiller principal d'éducation, est en réalité investi d'autres rôles que le seul respect de la discipline dans

de recherche intéressants à double titre, puisque chacune est aussi responsable dans sa composante (INSPE) du master MEEF « Encadrement éducatif », parcours « Conseiller principal d'éducation », qui prépare au concours externe d'accès à cette profession. « Comme pour d'autres groupes professionnels tels que les assistants sociaux ou les infirmiers, la formation des CPE s'est progressivement « universitarisée », ce qui participe à une forme de valorisation du métier. Il est désormais nécessaire d'obtenir la première année de master pour passer un concours présenté comme particulièrement sélectif : en 2020, et dans la continuité des années précédentes, seulement un

candidat sur dix a été admis à l'issue du concours. » Le recrutement des CPE, qui organisent le service de vie scolaire et l'équipe des assistants d'éducation, s'effectue dans la catégorie A de l'Éducation nationale. Ce bilan d'un reclassement social reste cependant en demi-teintes : les CPE sont toujours référencés en « profession intermédiaire » pour l'INSEE ; l'origine sociale des postulants, de même que leur parcours scolaire, demeure plus modeste que celle des candidats se préparant aux métiers de l'enseignement. « Surtout, il subsiste une division du travail assez nette entre CPE et enseignants au collège ou au lycée, où la valeur du travail éducatif

a toujours tendance à être considérée comme subordonnée à celle de la transmission de savoirs disciplinaires. »

La définition officielle du métier de CPE souligne pourtant son aspect coopératif : « [Les CPE] sont associés aux personnels enseignants pour assurer le suivi individuel des élèves et procéder à leur évaluation. En collaboration avec les personnels enseignants et d'orientation, ils contribuent à conseiller les élèves dans le choix de leur projet d'orientation ». L'étude menée par les chercheuses affine les attentes formulées par l'institution, grâce à la lecture des rapports de jury et à l'observation des oraux lors du concours, ou par les entretiens menés auprès des membres des jurys.

« À côté des incontournables connaissances sur les règles relatives au fonctionnement de l'institution scolaire, les savoirs requis relèvent d'une variété de domaines : la psychologie, les sciences de l'éducation, la philosophie, la sociologie, l'histoire, également la pédagogie. » Il est aussi demandé au futur CPE de savoir « se positionner » par rapport aux autres acteurs avec lesquels il est en lien, en tant que spécialiste de la vie scolaire : « Il lui faut réussir à occuper sa place dans la division du travail de socialisation scolaire, et montrer sa capacité à distinguer sa spécificité professionnelle ». Les CPE ont encore à négocier cette place au quotidien, pour rendre plus concrète, sur le terrain, la valorisation de leur métier.



Photo Mireca Meira - Shutterstock

son établissement. À l'interface entre tous les acteurs de l'enseignement secondaire, il peut être considéré comme un « agent de la modernité », en charge d'un nouvel ordre scolaire face à l'émergence de problématiques éducatives comme la violence et le harcèlement à l'école, le décrochage, la laïcité, et plus récemment l'identité de genre des élèves.

Au laboratoire ELLIADD, la sociologue Émilie Saunier mène l'enquête depuis plusieurs années pour mieux connaître les conseillers principaux d'éducation, en collaboration avec Marianne Woollven, son homologue à l'université Clermont-Auvergne. Des travaux

Contact :
Laboratoire ELLIADD
Université de Franche-Comté
Émilie Saunier
emilie.saunier-pilarski@univ-fcomte.fr

MÉDIATION SCIENTIFIQUE

RENCONTRE AUTOUR DE NO(S) FUTUR(S)

Le Musée du temps : peut-on imaginer théâtre plus approprié pour mettre en scène *No(s) futur(s)*, le thème choisi cette année pour la Nuit européenne des chercheur.e.s ? De clins d'œil en symboles, le décor est planté pour cette nouvelle édition d'un rendez-vous désormais incontournable à Besançon, une rencontre entre scientifiques, artistes et grand public, le temps d'une soirée interactive et ludique. Entre les murs chargés d'histoire du Palais Granvelle, au voisinage des prestigieuses collections abritées dans les salles du musée, les chercheurs évoqueront les travaux et le parcours qui les emmènent toujours plus loin dans la connaissance et les projettent vers l'avenir, embarquant les passionnés de sciences et les curieux de nature dans leurs investigations en géographie, chimie, médecine, sociologie, robotique...

OPTER POUR LA CLAIRVOYANCE

Innovation et rigueur scientifique sont des maîtres-mots de toute démarche de recherche qui se respecte. À contre-pied de cette position, c'est non sans humour que les combles du musée se verront investis par un Salon de la voyance éphémère et décalé ! Dans une ambiance juste ce qu'il faut d'inquiétante, les visiteurs emportés dans un tourbillonnant *search dating* se feront tirer les cartes par de pseudo voyants, des chercheurs qui disposeront de dix minutes pour battre en brèche par l'argumentation scientifique les idées reçues ou les *fake news* dispensées par un tarot « maison ». Horoscopes et boules de cristal seront aussi au centre d'une pièce de théâtre écrite sur mesure

LA NUIT EUROPÉENNE DES CHERCHEUR.E.S, CÔTÉ COUR

La question de l'eau est majeure pour le futur. Pour toujours sensibiliser le public à ses enjeux, une Grande expérience participative prendra naissance dans la cour du Palais Granvelle le soir du 29 septembre. Chaque visiteur volontaire se verra remettre un kit de mesure pour évaluer la qualité de l'eau d'une fontaine, d'un puits, d'un étang ou de tout autre point d'eau à choisir à proximité de son lieu de vie. Métaux lourds, nitrites, nitrates..., au total, quinze substances à détecter sur des bandelettes. « L'intérêt scientifique de l'expérience réside dans la quantité et le caractère instantané des prélèvements réalisés, et le taux de couverture de l'espace territorial », explique Lucie Vidal, responsable de l'organisation de la Nuit au service Sciences, arts et culture de l'université de Franche-Comté. Car l'expérience est nationale. Proposée par une équipe de l'INSA Toulouse, Synchr'EAU sera mise en place dans les 16 villes françaises accueillant la Nuit européenne des chercheur.e.s. Les mesures seront effectuées au cours du week-end suivant l'événement ; le recueil et le traitement des milliers de données attendues et prises en simultané donneront lieu à l'établissement d'une carte comparative sur l'ensemble du territoire. Les citoyens participant au projet pourront suivre l'avancement des recherches et seront informés des résultats.



La Nuit européenne des chercheur.e.s concerne 300 villes en Europe, 16 en France, dont la ville de Saint-Denis à La Réunion. Le service Sciences, arts et culture de l'université de Franche-Comté est coordinateur de l'événement à l'échelle nationale. Pour en savoir plus : <https://nuitdeschercheurs-france.eu>

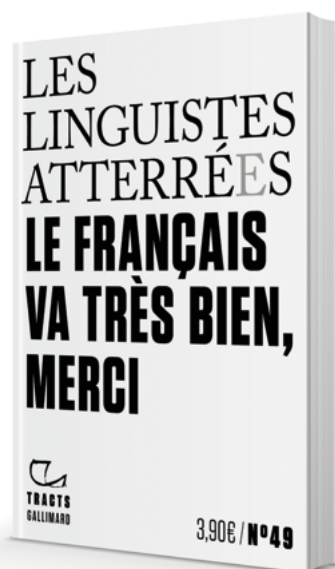
par le scénariste bisontin Nicolas Laurent, et jouée à proximité du surprenant salon. Sur le plateau, les consultations divinatoires s'enchaîneront jusqu'à ce qu'un grain de sable enraye la machine et fasse tomber le masque des sciences occultes... Certaines annonces sont, elles, sérieuses : « Vendredi 29 septembre, la Nuit européenne des chercheur.e.s vous fera découvrir de nouveaux savoirs et vous réservera bien des surprises. N'hésitez pas à profiter de cette édition 2023 ! » C'est vrai pour tous les signes du zodiaque.

Contact :
Université de Franche-Comté
Service sciences, arts et culture
Lucie Vidal
Tél. +33 (0)3 81 66 51 86
lucie.vidal@univ-fcomte.fr

PUBLICATION

FRANÇAIS EN FORME(S)

L'orthographe
d'aujourd'hui
est faite
d'ajustements
en tous genres,
et pas toujours
justifiés



« La forme correcte d'aujourd'hui est souvent la faute d'hier. »

Voilà qui devrait donner de l'aplomb à tous ceux qui craignent d'écorcher une tournure ou un terme de français...

En dix idées reçues, trente propositions et soixante pages, l'ouvrage collectif *Les linguistes atterrés-e-s*.

Le français va très bien, merci, est un manifeste en faveur de la langue française et de son droit à l'évolution. Il s'élève contre les discours alarmistes et sans légitimité scientifique qui pointent son soi-disant mauvais état de santé, à grand renfort médiatique. Ceux-là oublient qu'une langue vivante est par nature appelée à bouger, et ignorent que c'est l'usage qui décide si une faute évoluera ou non vers la norme. « Et l'usage, ça s'étudie avec minutie », posent en préambule les premières lignes du livre. C'est même une affaire de linguistes, comme Corinne Rossari à l'université de Neuchâtel, qui partage la signature de cet essai avec des collègues de Suisse, de France, de Belgique et du Canada. Citer l'origine géographique des auteurs donne l'occasion de rappeler que « le français n'appartient pas à la France », et que, décliné en multiples constructions grammaticales, registres de vocabulaires et prononciations concernant plus de 300 millions de personnes à travers le monde, il est loin d'adopter une forme unique.

Cette variété ne peut que se constater au fil du temps aussi. Fixer les règles du français date du XVII^e siècle. Avant cela, même « l'orthographe des textes de Montaigne ou Rabelais variait d'un imprimeur à l'autre » ; la « langue de Molière », si elle est toujours citée en référence, n'a pourtant plus grand-chose à voir

avec celle d'aujourd'hui, sans compter que le dramaturge était le premier à colorer ses textes de jargons, de patois et d'inventions langagières de son cru. Quant aux deux derniers siècles, ils n'ont pas vu naître de véritables réformes de l'orthographe, une lacune qui l'a rendue de plus en plus difficile d'accès ; l'orthographe d'aujourd'hui est faite d'ajustements en tous genres, et pas toujours justifiés. « Elle n'a pas été conçue avec un plan d'ensemble, comme un jardin à la française », notent les auteurs avec à-propos.

Pour eux, faire moins de dictées et privilégier le sens des mots et la construction des textes, considérer le langage *sms* comme une nouvelle variante de la langue et cesser de le voir comme une menace à la maîtrise du « bon » français, admettre que l'oral et l'écrit obéissent chacun à un fonctionnement qui lui est propre, reconnaître que les emprunts à d'autres langues, et en particulier l'anglais souvent stigmatisé, font partie de l'évolution du français et qu'ils l'enrichissent en réalité, se rendre compte que les critiques formulées aujourd'hui sur le déclin supposé du français l'étaient déjà il y a cent ans, et qu'elles ne reposent, pas plus aujourd'hui qu'hier, sur aucun fondement scientifique, remarquer enfin combien le français est une langue vivante, dans tous les sens du terme, dynamique et pleine de vitalité, figurent au nombre des constats et recommandations qu'il était urgent de formuler et d'expliquer. *Le français va très bien, merci*, rassure comme en conclusion le titre de ce livre à la fois militant, instructif et pétillant.

Les linguistes atterrés-e-s. Le français va très bien, merci. Éditions Tracts Gallimard, 2023

PUBLICATION

FEUILLETAGE TEMPOREL

« Feuilletage temporel », cette formule de la philosophe Sarah Carvallo¹ évoque en deux mots comment les disparités entre temps social, politique, économique, scientifique ou encore personnel se sont révélées lors de la pandémie de Covid-19, et comment ces temporalités se sont télescopées, se heurtant toutes à celle du virus. C'est par ce prisme particulier que des chercheurs de différentes disciplines, philosophie, physique, écologie, droit, histoire, immunologie..., abordent la crise sanitaire dans l'ouvrage *Les temps des pandémies*.

Le philosophe Arnaud Macé¹ évoque en préambule que les pertes de repères et les contraintes temporelles d'un quotidien soumis au confinement résonnent de la même façon entre l'expérience que nous venons de connaître et le vécu rapporté par des témoins des deux guerres mondiales : par-delà les années, ces analogies témoignent d'une mémoire commune de ressentis, symptomatiques de crises au demeurant incomparables. L'historien Laurent-Henri Vignaud² explique que les discours anti-vaccins trouvent leurs fondements aussi bien dans des principes religieux et philosophiques anciens, prônant la maladie comme un mal nécessaire, que dans le refus d'un ordre imposé par l'État avec les premières vaccinations obligatoires au cours du XIX^e siècle. L'immunologiste Dominique A. Vuitton³ raconte le long cheminement de la notion d'immunité, éprouvée de manière empirique pendant 25 siècles avant d'être scientifiquement expliquée et comprise, jusqu'à détailler les étapes successives du processus immunitaire...

Les contributions à cet ouvrage collectif viennent en prolongement du séminaire en ligne *Penser la pandémie*, proposé par Arnaud Macé et Patrick Giraudoux⁴ dès les premiers mois de la pandémie, et qui a organisé la réflexion sur la crise sanitaire dans une série de conférences toujours disponibles



sur canal-u.tv. En focalisant les analyses sur les temporalités, le livre pose aussi la question de la compréhension et de la gestion d'un phénomène sur le temps long, *a contrario* d'une vision et d'actions menées à court terme. Ces considérations de temps sont symboliquement mises en exergue par le différentiel de vitesse caractérisant l'existence des micro-organismes et celle des humains : « Il ne faut pas plus de dix ans à une bactérie pour connaître autant de générations que l'homme en a connu depuis l'Australopithèque ! » Le constat invite à la réflexion...

Bertrand A., Giraudoux P., Macé A. (sous la direction de), *Les temps des pandémies*, Éditions Belin / Humensis, 2023

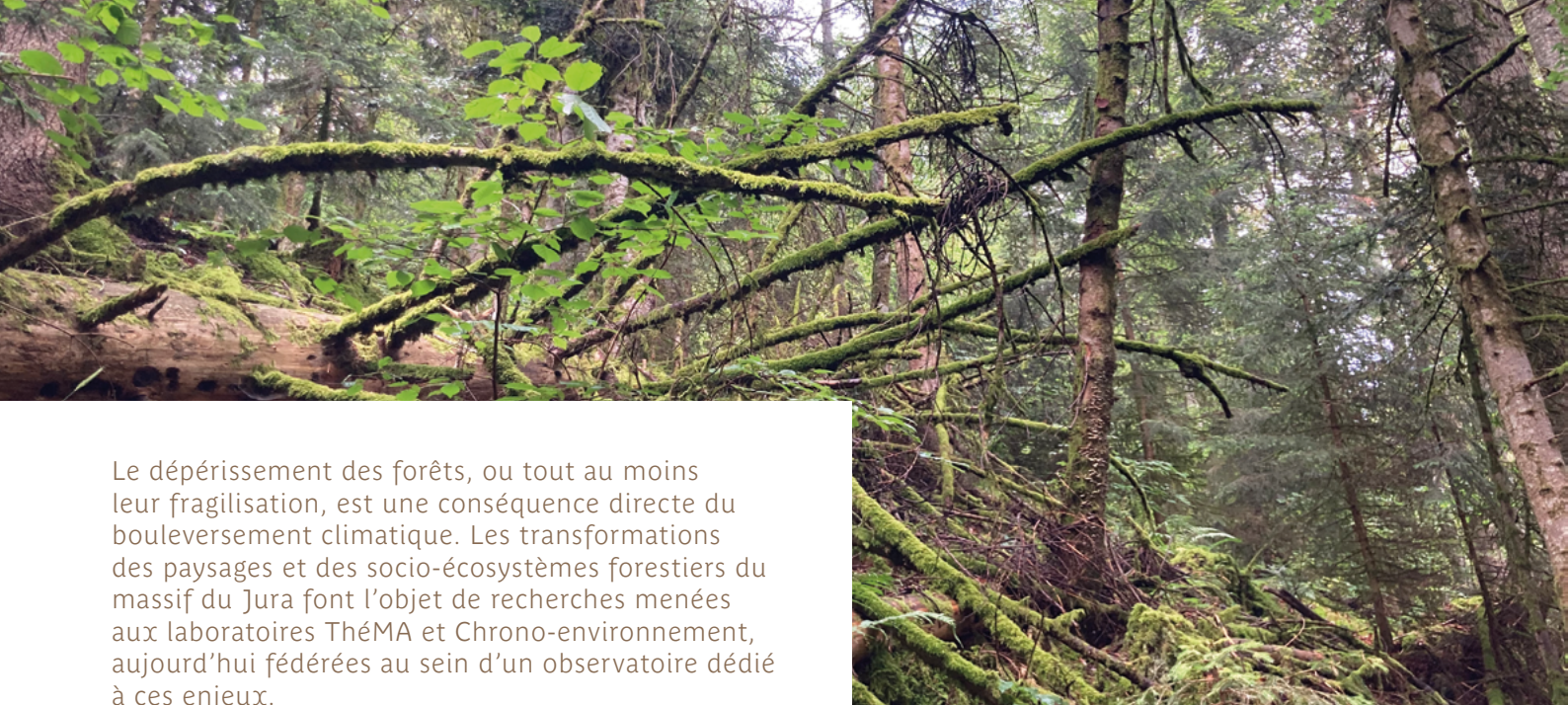
Les temporalités sociales, politiques, économiques, scientifiques ou encore personnelles se sont télescopées, se heurtant toutes à celle du virus

¹ Laboratoire Logiques de l'agir, université de Franche-Comté

² LIR3S, université de Bourgogne

³ Professeure émérite d'immunologie clinique, université de Franche-Comté

⁴ Professeur émérite d'écologie, laboratoire Chrono-environnement, université de Franche-Comté



Le dépérissement des forêts, ou tout au moins leur fragilisation, est une conséquence directe du bouleversement climatique. Les transformations des paysages et des socio-écosystèmes forestiers du massif du Jura font l'objet de recherches menées aux laboratoires ThéMA et Chrono-environnement, aujourd'hui fédérées au sein d'un observatoire dédié à ces enjeux.

OBSERVATOIRE [À CIEL OUVERT]

FORÊTS SENTINELLES COMTOISES

L'évolution du climat et celle de la santé de la forêt sont suivies en parallèle, de façon à saisir les interactions qui se jouent

Connaître le climat qui règne en forêt : le sujet est devenu capital, c'est l'un des objectifs de l'Observatoire des forêts sentinelles comtoises, qui concerne plus spécifiquement les parcs naturels régionaux du Haut Jura et du Doubs horloger. Les premiers jalons en ont été posés voilà plus de dix ans à ThéMA par le climatologue Daniel Joly, l'un des pionniers en France pour s'intéresser à la problématique et la rendre concrète avec l'installation de capteurs de température sous couvert forestier. Aujourd'hui, ce sont soixante-six capteurs qui, accrochés au tronc des arbres, enregistrent la température ambiante toutes les trente minutes, sur une large bande forestière le long de la frontière franco-suisse. Ces mesures se doublent de relevés sur l'état sanitaire des épicéas, des sapins et des hêtres, effectués tous les ans sur six placettes d'observation d'environ 5 000 m² chacune : l'évolution du climat

et celle de la santé de la forêt sont suivies en parallèle, de façon à saisir les interactions qui se jouent et à appréhender les phénomènes de manière globale. « L'observatoire mêle différents niveaux d'analyse, d'abord l'arbre pour établir son bilan de santé, puis le groupe d'arbres pour analyser la structure du peuplement forestier, enfin la biodiversité de l'écosystème, qui s'évalue à une échelle régionale. C'est un véritable défi, qui appelle à croiser différentes expertises », explique le géographe Xavier Girardet, enseignant-chercheur à l'université de Franche-Comté / ThéMA, spécialiste en écologie du paysage. Plusieurs chercheurs de ThéMA et du laboratoire Chrono-environnement sont ainsi engagés dans ce projet piloté par la palynologue Carole Bégeot. « Entre étude du dépérissement de la forêt et impacts des changements sur l'écologie et les paysages, l'un des objectifs est de donner des

< Photo prise sur une placette d'observation, Réserve biologique intégrale de la Grand' Côte, Remoray (25)

clés de compréhension aux professionnels et aux décideurs, pour qu'ils réussissent le mieux possible à concilier gestion de la forêt et bouleversement climatique », précise Xavier Girardet.

SIGNES DE FAIBLESSE

Depuis au moins trois ans, les spécialistes ne peuvent que constater que les forêts du massif jurassien donnent de très sérieux signes de faiblesse et de mortalité. Dans les placettes d'observation qui sont des laboratoires à ciel ouvert régulièrement investis par les chercheurs et leurs étudiants, la mesure du diamètre des troncs, et donc de leur vitesse de croissance, l'analyse des champignons mycorhiziens, qui sont des indicateurs de la santé des arbres, ou le constat d'invasions d'insectes témoignent de l'état sanitaire de la forêt. « Les arbres puisent dans les réserves d'eau qu'elles possèdent au niveau racinaire pour supporter la sécheresse, mais cette faculté n'est plus suffisante lorsque les épisodes secs se multiplient. » Le stress hydrique subi fragilise les arbres qui deviennent plus sensibles à l'attaque des insectes, comme les scolytes qui ravagent les épicéas. Ces résineux sont les premiers à dépérir, ce qui n'est pas sans obéir à une certaine logique car cette essence, qui a fait l'objet de plantations après-guerre issues du Fonds forestier national, n'est pas à son optimum écologique en dessous de 800 m d'altitude et se montre plus vulnérable aux changements que les autres. Les sapins et les hêtres présentent eux aussi des signes de stress en

raison du changement climatique, mais les dépérissements sont moins marqués. Le couvert forestier garantit une certaine inertie des températures, qu'elles soient froides ou chaudes, ce qui laisse à un processus en cours davantage de temps pour se réaliser ; il favorise par exemple une fonte lente de la neige, permettant à l'eau de pénétrer dans les sols et de recharger les nappes. « La forêt se protège par elle-même. Mais jusqu'à quand ? », s'inquiète le chercheur.

Les modifications des paysages forestiers se caractérisent par un fort impact visuel, et s'accompagnent de la disparition d'habitats pour la faune et la flore. L'évolution des populations d'oiseaux sont révélatrices des changements, notamment celle du pic cendré, en danger critique d'extinction en France ; l'espèce est spécialiste des forêts feuillues et très dépendante de ses conditions microclimatiques. Le pic cendré fait l'objet d'observations depuis des années par la LPO, la Ligue pour les oiseaux, avec laquelle collaborent les chercheurs. « Ses populations jurassiennes ne sont pas adaptées au climat océanique, qui est celui vers lequel on se dirige avec des hivers beaucoup plus doux et un enneigement moindre que par le passé. Étudier le pic cendré est important à la fois parce qu'il témoigne des changements à l'œuvre et qu'il en subit les conséquences de plein fouet. »

UNE STRUCTURE FÉDÉRATRICE

Officiellement créé en août 2022 et appelé à fonctionner sur le très

long terme, l'Observatoire des forêts sentinelles comtoises fédère des recherches menées de longue date à ThéMA et à Chrono-environnement, auxquelles il donne un cadre. Il s'adjoint les compétences de chercheurs de l'Institut

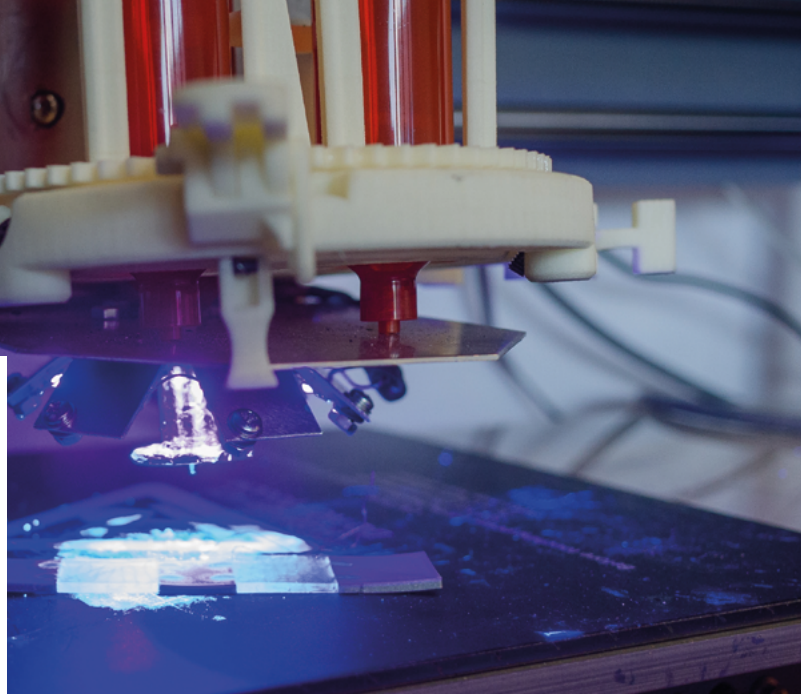
FEMTO-ST, notamment pour le développement des GPS qui aident à la localisation des capteurs de température disséminés sur un vaste espace forestier, et dont il faut assurer la maintenance

jusque dans des reculées ou points de la haute chaîne difficiles d'accès. L'Observatoire s'inscrit dans les activités de la Zone atelier de l'Arc jurassien (ZAAJ) et une collaboration se met en place avec l'IRP Forêts froides ; ce groupement de recherche international, créé en 2021 sous l'égide du CNRS, mobilise des chercheurs et techniciens de différents pays, France, Canada, Finlande, Chine, Norvège, Russie et Suède, autour de problématiques communes aux forêts de moyenne et haute altitude. Les données, qu'elles soient brutes, analysées pour en permettre l'interprétation ou modélisées pour l'élaboration de projections, seront stockées et mises à disposition aussi bien des chercheurs de tous champs disciplinaires que des professionnels sur le terrain.

« La forêt se protège par elle-même. Mais jusqu'à quand ?... »

Contact :
Laboratoire ThéMA
UFC / UB / CNRS
Xavier Girardet
Tél. +33 (0)3 81 66 53 48
xavier.girardet@univ-fcomte.fr

Elle ouvre la porte à des créations qu'on croyait réservées à la science-fiction : l'impression 4D rend possible la conception d'objets capables de se métamorphoser ou d'évoluer par eux-mêmes, sans intervention humaine. Enseignant-chercheur en mécanique à l'ICB/UTBM, Frédéric Demoly est l'un de ceux qui transforment la fiction en réalité, et portent l'impression 4D au plus haut niveau scientifique.



RÉVOLUTION [TECHNOLOGIQUE]

LES PROMESSES DE L'IMPRESSIION 4D

Ici pas de capteurs, ni d'actionneurs, ni d'intervention humaine : l'objet réagit par lui-même à une stimulation énergétique

Imaginez une cuiller pour bébé qui vire au rouge lorsque les aliments sont trop chauds. Ou une veste de sport étanche qui laisse passer l'air quand l'averse est finie. Ou, plus difficilement concevable, votre break qui se réduit aux dimensions d'une mini lorsque, les enfants une fois déposés à l'école, vous vous garez en ville. Ou encore, un médicament qui libère ses substances actives à retardement, par exemple dans l'intestin qu'il est chargé de soigner plutôt que dans l'estomac... Les exemples peuvent se décliner à l'infini, dans tous les domaines. S'ils sont pour la plupart encore des projections d'avenir, ils n'appartiennent déjà plus au domaine du rêve ou de la fantaisie : l'impression 4D saura bientôt créer ceux dont la société a besoin. Née voilà tout juste dix ans, l'impression 4D est une technologie encore émergente, mais

elle gagne rapidement du terrain. La récente nomination de Frédéric Demoly, enseignant-chercheur en mécanique à l'ICB/UTBM, à une chaire Innovation de l'Institut universitaire de France (IUF), en apporte la confirmation. « Cette distinction montre que l'impression 4D mérite d'être investiguée, qu'elle est un domaine scientifique d'avenir. C'est une reconnaissance des risques que nous prenons en recherche depuis plusieurs années, et une marque de confiance sur ce que nous voulons faire pour la science et pour la société. »

LA VIE EN 4D

Impression 3D + matériaux intelligents + énergie = impression 4D. L'équation ainsi posée est une façon simple d'énoncer une problématique qui l'est, on s'en doute, beaucoup moins. Mais c'est bien la mise en forme de matériaux par impression 3D qui donne naissance à des objets susceptibles

< Imprimante 4D permettant de déposer un polymère à mémoire de forme par seringue couplée à une source UV pour la création d'objet à changement de forme sous stimulation thermique.

d'évoluer dans leur forme ou dans leurs propriétés, par eux-mêmes. La condition ? Qu'ils soient soumis à une énergie, que cette énergie leur soit interne ou qu'elle provienne de l'extérieur. Ici pas de capteurs ni d'actionneurs, ni d'intervention humaine : l'objet réagit par lui-même à une stimulation énergétique, grâce aux matériaux réactifs dont il est composé. C'est ainsi que la veste de sport change de propriété selon l'humidité ambiante, que le véhicule se replie à la manière d'une canne à pêche télescopique quand il est délesté du poids de plusieurs occupants, ou que la délivrance du médicament est contrôlée dans le temps. De tels matériaux sont connus, ce sont des polymères/alliages à mémoire de forme susceptibles de retrouver leur état initial après déformation, des hydrogels capables de s'étendre ou de se contracter au contact de l'eau, des élastomères à cristaux liquides aux comportements réversibles... « Le concept de la 4D s'apparente au biomimétisme. La nature est évolutive et adaptative : l'idée est d'exploiter, comme elle, les changements d'énergie induits par la lumière, l'humidité, la chaleur... », explique Frédéric Demoly. Pour être intelligents, ces matériaux n'en sont pas moins imparfaits ; ils affichent des limites en termes de propriétés mécaniques, qui restent l'apanage des matériaux classiques. La stratégie de recherche adoptée par l'équipe de l'ICB est de combiner différents types de matériaux pour déboucher sur des compromis intéressants, entre capacités de transformation et robustesse mécanique.

MONTER EN MATURITÉ INDUSTRIELLE

L'impression 4D est au carrefour de nombreuses disciplines, physique, chimie, génie des procédés, ingénierie, robotique, science des matériaux... Frédéric Demoly et son équipe s'emploient à considérer la technologie qu'ils développent selon le point de vue du concepteur, qui a besoin d'en avoir une vision globale.

« Nous sommes aujourd'hui à un moment charnière. Il nous faut monter en maturité pour atteindre la phase industrielle et assurer la

pérennité des procédés explorés. »

Plusieurs briques technologiques comprenant machine d'assemblage des matériaux, logiciels de programmation et instruments de simulation sont d'ores et déjà au point, et deux demandes de brevets nationaux ont récemment été déposées :

des avancées prometteuses, issues de recherches financées par l'État au titre du Programme investissement d'avenir (PIA3), des Programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR) et par le CNRS.

La mise au point de nouveaux matériaux et procédés ne va pas sans questionnements associés.

Les chercheurs s'attachent à évaluer les risques éventuels liés au processus de fabrication à chacune de ses étapes, privilégiant le cas échéant les solutions les plus sûres et garantissant la protection des opérateurs. D'un point de vue

environnemental, la technologie intègre à son cahier des charges des exigences fortes pour le désassemblage, la réutilisation et le recyclage des matériaux imprimés.

L'impression 4D a été inventée aux États-Unis en 2013, par des équipes du MIT et de l'université du Colorado à Boulder, dont le chercheur Jerry Qi est le plus éminent représentant.

L'impression 3D est, elle, née trente ans plus tôt à l'université de Lorraine, en 1984 exactement ; le directeur de recherche Jean-Claude André est l'un de ses

co-inventeurs.

Depuis des années en lien avec ses deux confrères et leurs équipes, Frédéric Demoly est le troisième sommet d'un triangle basé sur une association solide et fructueuse. La collaboration s'étend aujourd'hui sous forme d'actions structurantes avec des départements de recherche voisins à l'ICB,

avec d'autres laboratoires tels que l'Institut FEMTO-ST et avec des groupes de recherche dont des réseaux commencent à se constituer à l'international.

Dans ce contexte, la nomination de Frédéric Demoly à l'IUF est un label qui porte le chercheur au rang de porte-parole du domaine de l'impression 4D en France.

Plusieurs briques technologiques, machine d'assemblage des matériaux, logiciels de programmation et instruments de simulation, sont déjà au point

Contact :
Laboratoire interdisciplinaire Carnot de Bourgogne – ICB
UB / UTBM / CNRS
Frédéric Demoly
Tél. +33 (0)3 81 58 39 55
frederic.demoly@utbm.fr



Diverses technologies et méthodes accompagnent les savoir-faire et les compétences pour faire avancer la recherche. De l'exploitation de propriétés quantiques à la construction de réalités virtuellement augmentées en passant par la reconstitution de statistiques sur un lointain passé, zoom sur quelques-unes d'entre elles...

GRAND FORMAT [COULISSES DE LA SCIENCE]

DES OUTILS POUR LA RECHERCHE

Le microscope
offre la possibilité
de travailler sur
un atome ou une
liaison atomique

M COMME MICROSCOPE À EFFET TUNNEL

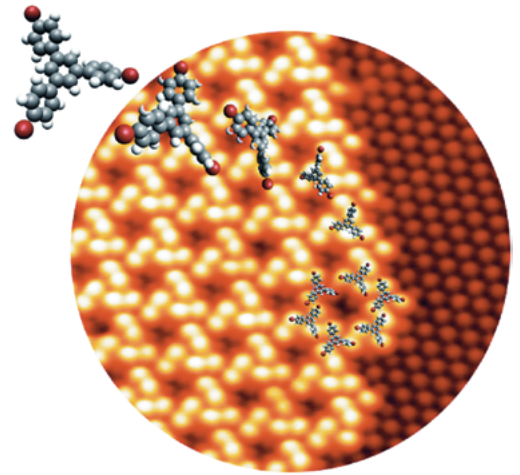
Agir avec les propriétés quantiques

À l'échelle de l'atome, les lois de la mécanique classique laissent place à celles, parfois difficilement concevables, de la mécanique quantique. L'effet tunnel est l'une de ces propriétés quantiques, exploitée pour donner naissance à un microscope révolutionnaire. Le microscope à effet tunnel est composé d'une pointe extrêmement fine, positionnée à un nanomètre de distance d'une surface conductrice. À cette distance infime d'un millionième de millimètre, les électrons d'un atome de cette surface sont susceptibles d'être captés par l'un des atomes constituant la pointe du microscope, créant ainsi un courant tunnel entre les deux atomes. En maintenant constante l'intensité de ce courant, la pointe du microscope se stabilise à un nanomètre de l'échantillon, ce qui lui permet de balayer sa surface à une distance toujours égale, pour en établir un relevé topographique à l'échelle atomique. La pointe elle-même a une dérive thermique quasi

La circulation de l'hélium nécessaire pour obtenir et conserver la très basse température du microscope s'effectue en circuit fermé, afin de limiter la consommation de ce gaz rare et coûteux

nulle, de l'ordre de 5 picomètres par heure ($\text{pm} = 10^{-12} \text{ m}$) quand la dimension d'un atome est de 300 pm. Et lorsque le microscope à effet tunnel travaille à très basse température (-263°C), la matière est figée, il devient non seulement possible de l'observer, mais aussi d'exercer sur elle un contrôle actif. Cet équipement s'est récemment ajouté au parc machines de la plateforme SURFACE de l'Institut FEMTO-ST à Montbéliard, donnant une nouvelle impulsion aux recherches qui y sont menées dans le domaine de la caractérisation et de l'élaboration des couches minces. « Le microscope

offre la possibilité de travailler sur un atome ou une liaison atomique, parce qu'ils restent immobiles pendant des heures, voire des jours », explique Frank Palmino, physicien, enseignant-chercheur à l'université de Franche-Comté, et directeur de la plateforme. « Et l'utilisation de l'effet tunnel donne la latitude voulue pour provoquer des réactions chimiques, en injectant des électrons à une énergie précise dans une molécule, exactement là où on le souhaite », complète le chimiste Frédéric Chérioux, directeur de recherche CNRS. Une nouvelle étape pour les chercheurs, précurseurs de l'auto-assemblage de molécules sur silicium dès les années 2010. Un projet en cours visant à comprendre les mécanismes de formation de l'ammoniac illustre les capacités du microscope : l'injection d'un électron entre deux atomes d'une molécule d'azote fragilise leur liaison, donnant la possibilité d'insérer des atomes d'hydrogène entre ceux d'azote : des liaisons se cassent, de nouvelles se créent, donnant naissance à des molécules d'ammoniac (NH_3). Au-delà de la démonstration de principe, ce travail de recherche est nécessaire pour envisager des alternatives crédibles aux méthodes actuelles de production d'ammoniac, qui nécessitent de fortes température et pression, et représentent environ 2 % de la consommation d'énergie mondiale. L'impact environnemental est une préoccupation des chercheurs dans leurs travaux comme pour leurs équipements ; ce critère fait partie intégrante du cahier des charges de leurs investissements à l'institut depuis près de dix ans. Le microscope à effet tunnel de la plateforme SURFACE ne fait pas exception : c'est en circuit fermé qu'est assurée la circulation de l'hélium nécessaire pour obtenir et conserver sa très basse température, afin de limiter la consommation de ce gaz rare et coûteux. Le microscope à effet tunnel est un équipement représentant un investissement de 600 K€, financé par l'Agence nationale de la recherche (ANR), la Région Bourgogne-Franche-Comté et le Pays de Montbéliard agglomération (PMA).



Réseau moléculaire auto-assemblé sur une surface de silicium dopée au bore

S COMME SPECTROSCOPIE

Identifier des marqueurs de cancer sur des molécules

Au XVII^e siècle, Newton montrait que la lumière blanche du soleil se décompose en différentes couleurs dès lors qu'elle passe à travers un prisme. Chacune de ces couleurs correspond à une longueur d'onde particulière, dont l'ensemble forme le spectre visible. Ce spectre visible à nos yeux



La spectroscopie est un exercice complexe, d'autant plus à l'échelle de la molécule, et fournit un nombre considérable de données

n'est qu'une petite partie du spectre électromagnétique, qui recense les longueurs d'onde de l'ensemble des rayonnements électromagnétiques : ondes lumineuses, ondes radioélectriques, rayons X, rayons gamma... La spectroscopie est l'étude de ces rayonnements qui, émis ou absorbés par une substance, constituent en quelque sorte son empreinte digitale.

Plus précisément, la spectroscopie vibrationnelle s'intéresse aux vibrations de liaisons atomiques, elle comprend la spectroscopie Raman et la spectroscopie d'absorption infrarouge. Benjamin Brunel est enseignant-chercheur en électronique à l'ISIFC / Institut FEMTO-ST, où il mène des recherches visant à appliquer les techniques spectroscopiques au domaine de la santé, et plus précisément au diagnostic des cancers. Ses investigations portent sur les vésicules extracellulaires, des particules de 30 nm à 1 µm produites par les cellules, et qui assurent la communication entre elles. Présentes dans les biofluides tels que le sang, les vésicules extracellulaires, pour certaines, portent la signature moléculaire de cancers : « Utiliser la spectroscopie pour identifier les marqueurs de la maladie sur ces particules, à partir de prélèvements sanguins, est un moyen pour aider à établir un diagnostic. »

La spectroscopie est un exercice complexe, d'autant plus à l'échelle de la molécule, et fournit un nombre considérable de données. Une seule mesure en spectroscopie fournit

1300 variables pour caractériser un échantillon de vésicule extracellulaire. Et des centaines de mesures sont réalisées pour ce même échantillon, afin de pouvoir prendre en compte son hétérogénéité ! Si l'on ne peut réellement parler ici de *big data*, le volume impressionnant des données, et plus encore leur complexité, nécessite de recourir au *machine learning*. Cet outil de l'intelligence artificielle donne la possibilité d'élaborer un modèle statistique à partir des données de patients atteints ou non de cancer, et d'identifier les corrélations qui intéresseront le diagnostic. Il permet de travailler sur le millier de variables différentes produites dans un spectre, multipliées par la cinquantaine de patients concernés par l'étude.

« L'objectif est de produire, à partir de telles données, des modèles prédictifs qui serviront au dépistage de la maladie dans le futur. »

Le recours à la spectroscopie est envisagé dans le but d'apporter un outil de caractérisation fine, complémentaire aux méthodes d'investigation existantes. Dans une recherche menée avec des chercheurs en biologie de l'université de Rennes, Benjamin Brunel étudie la toxicité de composés tels que les hydrocarbures sur les cellules du foie. « Il s'agit dans un premier temps de regarder si ces particules toxiques ont un effet sur les vésicules extracellulaires, et ensuite de déterminer si la spectroscopie est à même de déceler cet impact. » Bien des champs d'investigation nouveaux semblent se dessiner pour cette technique éprouvée de longue date, dans d'autres domaines.

T COMME TOUR À FLUX

Capter les échanges de carbone entre écosystème et atmosphère

La tourbière de Frasné est l'une des quatre tourbières du réseau SNO tourbières¹ labellisé par le CNRS. Sur une grande superficie (293 ha), elle présente de multiples visages, telle sa partie boisée où la tourbe s'accumule depuis environ 8 000 ans. Plus récente avec quelque 2 000 ans d'âge, la « tourbière active » marécageuse est celle investie par les chercheurs

« La finesse temporelle des mesures autorise la reconstitution, sur une journée, une saison ou une année, des flux circulant entre les sols, l'eau et l'air »

depuis 2008 ; elle affiche un taux d'instrumentation réputé parmi les plus importants au monde pour ce type d'écosystèmes. Les tourbières font l'objet d'une surveillance particulière car le carbone, prisonnier de plusieurs mètres de tourbe depuis des millénaires, est susceptible de se libérer sous le coup du réchauffement climatique. Pour anticiper les évolutions à venir, la problématique demande à être documentée sur le long terme. Une tour à flux installée sur le site en 2018 apporte des indications nouvelles, d'une finesse inégalée. Les capteurs dont elle est équipée assurent la mesure à haute fréquence des échanges de gaz à effet de serre entre l'écosystème et l'atmosphère. L'enregistrement des données de concentrations, de vitesse et de direction du vent, vingt fois par seconde, donne la possibilité de mieux appréhender les processus à l'œuvre dans un système constamment changeant.

« Les tourbières fonctionnent comme des réacteurs biogéochimiques, dont les flux de matière varient essentiellement en fonction de la météo. L'activité photosynthétique des sphaignes, cette mousse qui compose la partie vivante à la surface de la tourbière, se modifie en quelques minutes en fonction de la couverture nuageuse, de la température ou de l'humidité de l'air, explique Guillaume Bertrand, enseignant-chercheur en hydrogéologie au laboratoire Chrono-environnement / université de Franche-Comté. La finesse temporelle des mesures autorise la reconstitution, sur une journée, une saison ou une année, des flux circulant entre les sols, l'eau et l'air ». Ce « bijou de technologie », comme le qualifie le scientifique, accumule des données que des algorithmes traitent ensuite pour les rendre intelligibles sous forme de flux de gaz.

Pour l'année 2021, l'analyse des flux fait état d'un bilan en demi-teintes : la tourbière de Frasne a absorbé 208,9 g/m² de carbone sous forme de CO₂ ; elle a émis 23,4 g/m² de carbone sous forme de méthane (CH₄). Le méthane a un pouvoir réchauffant environ 28 fois supérieur à celui du CO₂, mais sa durée de vie dans l'atmosphère est beaucoup plus courte. Pour pouvoir établir des comparaisons, les scientifiques estiment le pouvoir réchauffant des gaz à effet de serre sur 100 ans, en calculant des équivalences : ici, le méthane émis a un pouvoir réchauffant équivalent CO₂ de 252 g/m² sur 100 ans. Conclusion : la tourbière confirme son rôle de puits de carbone, avec l'absorption de 208,9 g de CO₂ au m² pour l'année 2021, mais elle a tendance à contribuer au réchauffement climatique, avec l'émission de l'équivalent de 252 g de CO₂ au m².

Guillaume Bertrand met en garde contre des conclusions trop hâtives que pourrait susciter la comparaison, prise de façon isolée. « On parle de pouvoir réchauffant sur 100 ans ! Et on sait que ce bilan va varier selon les années considérées, en fonction des conditions hydrométéorologiques. En outre, il ne faut pas oublier que les tourbières ont contribué au refroidissement climatique de l'Holocène, cette période géologique qui correspond aux 12 000 dernières années, et dans laquelle nous vivons toujours ; considérer le fonctionnement des tourbières uniquement à l'échelle d'une vie humaine n'aurait pas de sens. »

Les tourbières représentent seulement 3 % de la surface continentale, mais contiennent 30 % du carbone organique des sols. Un intérêt de premier plan, sans compter les qualités écologiques qui la caractérisent par ailleurs.

¹ Le Service national d'observation tourbières est une infrastructure opérationnelle d'observation et de modélisation du fonctionnement des tourbières, labellisée par l'Institut national des sciences de l'univers (INSU) du CNRS.
<https://www.sno-tourbieres.cnrs.fr/>



Photo Hubert Bagueot

DES DRONES POUR DES MESURES DE HAUTE RÉOLUTION SPATIALE

C'est avec une résolution également très fine, mais cette fois dans une dimension spatiale, que des drones captent les flux de gaz à effet de serre. « La tourbière est constituée d'une mosaïque de zones qui jouent différemment sur la dynamique du carbone, explique Guillaume Bertrand. Le recours aux drones permet de localiser celles qui émettent ou absorbent le carbone, sous forme de CO₂ ou de CH₄ ». Fin juin, pendant une semaine, des chercheurs de huit universités

se sont réunis à Frasne pour éprouver leurs méthodes et équipements scientifiques, et mettre en commun leurs données. Entre autres expériences, les drones mis au point par des chercheurs de l'université de Reims, équipés de caméras mesurant les concentrations de gaz à la surface des sols, font leurs essais sur le site. Parallèlement, une sorte de cloche en plexiglas est utilisée successivement en différents points au sol par Robin Calisti, doctorant d'Edward Mitchell au

laboratoire de biodiversité du sol de l'université de Neuchâtel. La cloche est reliée à un spectromètre laser mesurant l'évolution des concentrations dans celle-ci : les mesures effectuées depuis le sol sur quelques dizaines de cm² pourront être comparées à celles prises par les drones. Une fois leur fiabilité éprouvée, ces appareils de nouvelle génération, grâce à leur capacité à survoler de vastes surfaces, permettront l'enregistrement de données à grande échelle.

Ajouter du virtuel au réel, en images, est le principe de base de la réalité augmentée

R COMME RÉALITÉ AUGMENTÉE

Faire place à l'illusion

Affubler quelqu'un pris en photo sur son téléphone portable d'un chapeau, d'un gros nez ou d'une bulle de conversation façon bande dessinée, c'est dans sa version la plus simple de la réalité augmentée, qui consiste à ajouter du virtuel au réel. Le mélange d'images de synthèse et de vraies images, ou leur superposition *via* des écrans semi-transparents sont les techniques employées pour créer l'illusion. La réalité augmentée peut aussi être plus immersive, permettant le déplacement de la main, voire du corps, dans un univers à demi-réel ; les casques de réalité augmentée permettent de cartographier un environnement en 3D pour pouvoir ajouter un élément virtuel exactement à l'endroit voulu.

Le groupe Imagerie de la HE-Arc Ingénierie est spécialisé dans la réalité virtuelle et la réalité augmentée, et déploie dans ce dernier domaine, depuis une quinzaine d'années, des solutions pour des applications très diverses.

Il s'agit par exemple d'inscrire des textes sur des objets en pierre usés par le temps, ou d'intégrer des morceaux manquants à un vase ancien brisé, pour le « recoller » et lui redonner sa splendeur d'origine ; de faire visualiser et actionner leur membre disparu à des personnes amputées d'une jambe, de façon à ce qu'elles puissent effectuer des exercices qui leur permettent de combattre leurs « douleurs fantômes » ; de démontrer les capacités d'une machine sur un salon industriel sans qu'elle émette le moindre déchet, la machine étant bien réelle et opérationnelle, mais sa production relevant du domaine de l'image.

La maintenance industrielle est l'un des axes actuellement privilégiés par l'équipe ; le MicroLeanLab de la Haute Ecole Arc s'avère dans cette optique être un terrain d'investigation privilégié pour la recherche : « Les caractéristiques des machines disposées dans les différentes cases de la micro-usine sont assez homogènes, et il est facile d'accéder aux informations qui nous sont utiles », explique Didier Rizzotti,



Photo : Shutterstock - Pixabay

L'imagerie par transformation de réflectance est une technique photographique assistée par ordinateur, née dans les années 2000

directeur-adjoint de la HE-Arc Ingénierie, et responsable du groupe imagerie. L'équipe s'attaque aussi à la « réalité mixte », qui dans un savant mélange, ajoute cette fois du réel au virtuel. Dans un projet de design sensoriel qui vient de commencer, il ne s'agit plus seulement de créer des illusions pour les yeux, mais de faire appel au sens du toucher : « Lorsqu'on touche un élément virtuel, on a une sensation tactile réelle au bout des doigts ».

Ce tour de force, à défaut de s'apparenter à un tour de magie, s'explique par le positionnement d'un échantillon réel de matière sous des éléments virtuels, là où la personne va toucher l'objet : à l'endroit, par exemple, où une pièce de velours virtuelle est ajoutée à l'image d'un rideau de théâtre déchiré, pour donner l'impression qu'il est réparé, on pourra réellement en sentir la texture sous les doigts... Les échantillons proviennent d'une matériauthèque constituée tout exprès et faite de bois, de textiles, de plastiques et autres textures en tous genres. « Cette recherche est menée avec une équipe de Fribourg et avec nos collègues en conception produits centrée utilisateurs. Elle permettra à ces derniers d'intégrer le toucher au test d'un produit lors de sa phase de conception, une dimension supplémentaire pour gagner en énergie, en coût ou encore en temps de prototypage. »

COMME IMAGERIE PAR TRANSFORMATION DE RÉFLECTANCE

Révéler des informations dissimulées à la surface des objets

Vaisselle en argent et collection de papillons n'ont *a priori* pas grand-chose à voir... Mais les spécimens que les spécialistes en conservation-restauration examinent à la HE-Arc ont des points communs : le XIX^e siècle pour origine, et une structure de surface présentant des informations difficiles à déceler. Celles-ci sont cependant encore visibles, malgré l'usure ou la dégradation, pour l'imagerie par transformation de réflectance (*Reflectance Transformation Imaging - RTI*), une technique photographique assistée par ordinateur, née dans les années 2000. Le principe ? Une caméra fixe saisit plusieurs clichés d'un objet, lui aussi statique, selon différents éclairages ; un logiciel agrège ensuite toutes les informations enregistrées par la caméra pour créer une image virtuelle, synthèse de toutes les autres. La méthode du dôme est une variante de la RTI, adoptée par l'équipe de la HE-Arc pour effectuer ses tests, grâce à l'utilisation d'un appareil commercial Broncolor. La caméra, placée en haut d'une demi-sphère rigide de 50 cm de diamètre, capte une image de l'objet en contrebas à chaque fois que s'allume l'une des 48 sources lumineuses disposées sur la surface intérieure du dôme. La compilation et le traitement informatique des 48 clichés font apparaître sur l'image « finale » des informations partiellement effacées, voire insoupçonnables, que les différents angles de lumière ont donné l'opportunité de saisir. « Il est à nouveau possible de lire à la surface de l'objet. La brillance de l'argent par exemple, qui est gênante, est biaisée par la lumière et atténuée grâce au traitement informatique des images », expliquent Laura Brambilla, professeure à la HE-Arc, et Alexandra Lefebvre, conservatrice-restauratrice des patrimoines métallique et technique, qui collabore à ce projet. Sur la vaisselle ancienne appa-





Armoiries révélées par RTI sur de la vaisselle en argent - Photo HE-Arc

raissent des traces d'usage générées par un emploi quotidien, ou des inscriptions, des poinçons, qu'un nettoyage tout aussi fréquent a au contraire partiellement effacés...

À l'époque où la vaisselle en argent prenait place sur les grandes tables, la lépidochromie était à la mode. Cette technique, qui consistait à « décalquer » sur du papier les ailes des papillons, était pratiquée par des amateurs éclairés. En caractérisant la structure des ailes sur les planches des collectionneurs, la RTI révèle les minuscules écailles qui les composent, témoignant que les planches sont bien réalisées par lépidochromie, et non peintes à l'aquarelle comme on pourrait le penser de prime abord. Les collections de vaisselle en argent du XIX^e siècle proviennent du Musée historique de Lausanne ; les planches de lépidochromie de celui du Muzoo de la Chaux-de-Fonds, où elles ont été fortuitement découvertes en 2018. Les collections de papillons réalisées selon cette technique oubliée restent rares ; certaines se trouveraient dans les musées d'histoire naturelle de Nancy, de Paris et de Besançon (Citadelle), où des investigations par RTI pourraient être proposées par les spécialistes de la HE-Arc pour en établir leur facture de façon sûre.

ÉQUIPEMENTS FAITS MAISON

Enseignant-chercheur en conservation-restauration à la HE-Arc, Christian Degriigny supervise le projet RTI, comme il en dirige d'autres depuis des années. Parmi eux, la mise au point d'instruments d'analyse est une option prise pour pouvoir répondre aux premières problématiques posées par une recherche patrimoniale, en toute autonomie. « Les équipements commerciaux coûtent cher et sont rapidement obsolètes, nécessitent de la maintenance et des mises à jour sur lesquelles nous n'avons aucun contrôle. Bâtir nos propres outils est une solution pour assurer leur développement en interne, pour réduire les investissements, tout en proposant des services intéressants à l'ensemble des acteurs du domaine. »

MiCorr, Pleco et Discovery Mat sont trois outils d'analyse issus des recherches menées à la HE-Arc Conservation-restauration, et qui sont aujourd'hui diffusés auprès des professionnels. La participation de ces derniers est requise pour rendre ces équipements plus efficaces et plus pertinents. La plateforme MiCorr, typiquement, donne la possibilité d'établir un diagnostic d'altération pour des objets métalliques, un préambule pour comprendre le matériau et l'objet qui se cachent sous la corrosion, et opérer les bons choix quant à leur conservation. Réaliser ce bilan demande à établir des comparaisons, qui ne peuvent avoir du sens et un plein intérêt que si la base de données est suffisamment solide. « Les professionnels plébiscitent la

mise à disposition d'outils comme MiCorr, qui est accessible sur le net, gratuitement. Mais ils ont du mal à dégager du temps pour compléter la base de données avec leurs informations. Or ce sont des outils participatifs, qui, pour être pertinents, en appellent à l'adhésion de chacun », explique Christian Degriigny. Accepter de se plier à l'exercice représente un véritable enjeu pour disposer d'outils fiables, utiles, garantissant à l'ensemble de la profession un travail de qualité, réalisé en complète autonomie. Pour aider à la diffusion et à la promotion des solutions développées par son équipe, le chercheur pilote actuellement le projet européen *Innovators Grant Endless Metal*, qui bénéficie d'un soutien financier de l'association COST.

Le passé est une
source d'informations précieuses
pour l'avenir

D COMME DOCUMENTATION

Remonter aux sources historiques

Sait-on que le séisme qui a secoué le Poitou en juin dernier, pour avoir marqué l'opinion comme un événement exceptionnel, s'inscrit en réalité dans une longue série chronologique ? Que les inondations de la Seine de juin 2016, qui ont détruit les équipements installés sur les quais pour le championnat d'Europe de football, ont connu bien des antécédents ?...

Que le paludisme a sévi en France, et ce jusqu'au début de la Première Guerre mondiale dans le Nord ?... Des exemples de cet acabit, l'historien Emmanuel Garnier peut en citer d'autres, en France ou ailleurs dans le monde. Directeur de recherche CNRS au laboratoire Chrono-environnement, spécialiste du climat et des catastrophes naturelles, Emmanuel Garnier peut surtout retracer des évolutions climatiques au fil de l'histoire et élaborer des séries statistiques à partir des informations qu'il glane. La documentation est son outil de base : contrairement à d'autres disciplines, la recherche en histoire demande peu de moyens technologiques, hormis dans certains cas le recours à des calculs complexes. Mais c'est un travail de fourmi, qui entraîne l'historien de documents écrits en témoignages picturaux, de la consultation d'archives au recensement de repères sur le terrain. Menée de cette manière sur le temps long, la recherche en histoire apporte matière et recul à d'autres champs disciplinaires travaillant sur un pas de temps plus court.

« Le passé donne à voir la façon dont les populations s'adaptaient aux changements ou aux événements climatiques majeurs, et dont nous pourrions nous inspirer pour faire face aux enjeux environnementaux actuels ; il est aussi une source d'informations permettant, par exemple, d'éprouver les solutions que proposent aujourd'hui les urbanistes pour l'aménagement des territoires. »

Les années 1750 représentent une période charnière pour les investigations historiques. Avant cette date, il s'agit de reconstituer des séries de données à partir d'informations disparates et qui ont réussi à traverser les siècles, tableaux religieux décrivant des catastrophes, repères de crues toujours visibles, décisions municipales consignées dans des registres... : le croisement et l'analyse de ces sources éclectiques permettent l'interprétation. Depuis la fin du Moyen Âge, par exemple, subsiste une foule d'informations à propos de l'influence du climat sur la végétation.

« Dans le domaine viticole, ce sont les municipalités qui autorisaient les vendanges, elles se basaient pour cela sur les données de température et de maturité des grains, qu'elles enregistraient. » À noter qu'à Besançon, en 1816, les vendanges n'avaient été permises qu'en novembre : en fin d'été, les températures avaient chuté durablement, en même temps que les pluies s'étaient multipliées de façon anormale. Le rapprochement des informations historiques a permis d'établir que ces conditions plus que défavorables étaient dues à l'explosion d'un volcan en Indonésie, qui avait envoyé des nuages de cendres jusqu'à la Comté.

La reconstitution de données sur le long terme suppose dans la plupart des cas des échanges avec d'autres disciplines, comme la climatologie, l'agronomie, la géologie... « Pour établir des séries de températures et faire ressortir des anomalies climatiques, il est essentiel de soustraire les dates correspondant à des particularités qui sont le fait de l'homme, et non de la météo ; c'est par exemple un changement de cépage dans les vignobles, une information dont disposent les agronomes. »

La fin du XVIII^e siècle marque une rupture pour la recherche historique. La création des États modernes s'accompagne notamment du développement du corps des ingénieurs, qui ont besoin de données pour travailler ; en France, des services météorologiques sont mis en place par Napoléon III dans chaque département : les séries de données existent désormais, et peuvent compléter celles reconstituées sur les siècles précédents.



Photo Juanlu Ejarado - Pixabay

Contacts :

Institut FEMTO-ST

UFC / SUPMICROTECH ENSMM / UTBM / CNRS

Dpt Micro nano sciences et systèmes – MN2S

Équipe MOSAIC

Frank Palmino / Frédéric Chérioux

Tél. +33 (0)3 81 99 47 12 / (0)3 63 08 24 25

frank.palmino@femto-st.fr

frederic.cherieux@femto-st.fr

Équipe Nano2BIO

Benjamin Brunel

Tél. +33 (0)3 63 08 24 76

benjamin.brunel@femto-st.fr

Laboratoire Chrono-environnement

Université de Franche-Comté / CNRS

Guillaume Bertrand

Tél. +33 (0)3 81 99 46 89

guillaume.bertrand2@univ-fcomte.fr

Emmanuel Garnier

emmanuel.garnier@univ-fcomte.fr

Haute Ecole Arc

Domaine Ingénierie

Didier Rizzotti

Tél. +41 (0)32 930 22 09

didier.rizzotti@unine.ch

Domaine Conservation-restauration

Laura Brambilla / Alexandra Lefebvre /

Christian Degrygn

Tél. +33 (0)32 930 19 36 / 19 38

laura.brambilla@he-arc.ch

alexandra.lefebvre@he-arc.ch

christian.degrigny@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

SUPMICROTECH ENSMM^{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

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