

# en direct

LE JOURNAL DE LA RECHERCHE ET DU TRANSFERT DE L'ARC JURASSIEN - NUMÉRO 285 - NOVEMBRE - DÉCEMBRE 2019

**GRAND FORMAT** [ MATIÈRES À RÉFLEXION ]

## MATÉRIAUX TOUS AZIMUTS

**ACTUALITÉS**

TRAITEMENT DE SURFACE  
AU NATUREL

**PUBLICATION**

SOCIÉTÉS À RESPONSABILITÉ  
PARTAGÉE

**HISTOIRE** [ RENVERSANTE ]

RÉVOLUTIONS À RÉPÉTITION

**PHILOSOPHIE** [ ENVIRONNEMENTALE ]

LE VÉGÉTAL RÈGNE À NOUVEAU  
SUR TERRE

# EN DIRECT

NUMÉRO 285 - NOVEMBRE - DÉCEMBRE 2019

## 3 | ACTUALITÉS

- Un projet phare pour le Nord Franche-Comté
- Structure de recherche universitaire de volée olympique
- INTERMED, nouveau modèle de soins pour les patients atteints de maladie chronique
- ROAD maîtrise la chaîne du froid
- Traitement de surface au naturel
- Bourse du carbone : quel droit à polluer ?
- Le vin, source de convivialité
- Émoi sur le concours de chefs d'orchestre de Besançon
- Sociétés à responsabilité partagée
- Bactéries de l'extrême

## 12 | HISTOIRE [ RENVERSANTE ]

Révolutions à répétition

## 14 | PHILOSOPHIE [ ENVIRONNEMENTALE ]

Le végétal règne à nouveau sur Terre

## 16 | GRAND FORMAT [ MATIÈRES À RÉFLEXION ]

Matériaux tous azimuts

## LAURÉAT TERRITOIRES D'INNOVATION

UN PROJET PHARE  
POUR LE NORD FRANCHE-COMTÉ

Collectivités locales, grands comptes industriels, PME, établissements d'enseignement supérieur, citoyens : tous souhaitent construire un avenir commun au Nord Franche-Comté à travers le projet « Transformation d'un territoire industriel », lauréat de l'appel à projets « Territoires d'innovation » du grand plan d'investissement français. La bonne nouvelle a été annoncée le 13 septembre dernier : le territoire sera soutenu par l'État dans son ambition de répondre aux défis qui lui sont posés sur fond de mondialisation, de numérisation globale et de bouleversement climatique.

Ghislain Montavon, directeur de l'UTBM, et Damien Charlet, vice-président de l'université de Franche-Comté en charge du numérique et des campus, chacun coordinateur du projet pour son établissement, témoignent de la volonté commune et de la vision partagée qui ont prévalu pendant les deux années de préparation du dossier. « Ces différents acteurs se connaissaient bien sûr tous, mais c'est la première fois qu'ils étaient tous réunis pour élaborer une stratégie d'action concertée », raconte Ghislain Montavon. Autour de la table donc, les membres du consortium : Pays de Montbéliard agglomération et Grand Belfort, qui sont les deux collectivités porteuses du projet, l'UTBM et l'université de Franche-Comté, PSA, Faurecia, Alstom, General Electric, EDF, Rougeot Énergie, WuDo, Delfingen, l'UIMM, Territoire habitat, SMTC, Sedia, l'Agence de développement économique Nord Franche-Comté, MA scène nationale et la Région Bourgogne - Franche-Comté. D'autres structures publiques ou



académiques viennent s'ajouter à ce premier cercle, assurant une large représentation du territoire. « Le projet, même réunissant des activités diverses et des recherches tout aussi différentes, a pu se construire dans de bonnes conditions grâce à une méthode de travail agile, pragmatique, que nous continuerons d'ailleurs d'exploiter par la suite », souligne Damien Charlet.

## UN PLAN EN 29 ACTIONS

Résultat de cette réflexion collective : trois axes complémentaires de développement et une série de 29 actions bâties sur l'existant, auquel elles donnent de l'ampleur et de la visibilité.

La création d'une filière industrielle de l'hydrogène et de l'énergie mobilise des activités historiques du Nord Franche-Comté. Le concept est de produire et de stocker l'hydrogène avant de l'exploiter pour les besoins du transport et de l'habitat, ce qui est une particularité dans le paysage français. Autre spécificité : l'hydrogène, pour l'essentiel

fabriqué à partir d'énergies fossiles en France, provient ici de l'énergie solaire. L'industrie 4.0 est un autre cheval de bataille du consortium. Le déploiement des tiers-lieux d'innovation, les désormais célèbres OpenLabs et leurs déclinaisons, est au service de cet enjeu. Afin de démultiplier les possibilités offertes sur les sites principaux, ces tiers-lieux portent la créativité collective sur tout le territoire : il s'agit aujourd'hui de rendre ces structures viables et pérennes, grâce à des modèles de gestion économique adaptés. De nouvelles unités sont en projet, comme le Mattern Lab qui sera ouvert à Sochaux, en collaboration avec l'UFC et l'UTBM. Le Nord Franche-Comté ambitionne enfin de devenir un territoire de référence pour le développement de compétences du futur, avec la mise en place d'initiations au numérique, à la robotique et à l'impression 3D dans les écoles, l'émergence d'une cité de l'industrie,

la création de Mobicampus, le campus des métiers et des qualifications, ou encore le déploiement de l'*UTBM Innovation Crunch Time* sur l'ensemble du territoire, avec des déclinaisons du concept de cet exercice pédagogique géant dans les collèges ou les entreprises, par exemple. Toutes les actions seront menées en concertation avec les habitants. « Associer les citoyens au projet est essentiel, c'est là que se situent ses enjeux, c'est ce qui fait sa valeur et lui donne son

sens », remarque Ghislain Montavon. La cohérence de la démarche est également fondamentale. Selon les mots de Damien Charlet, « la création il y a quelques mois du campus Nord Franche-Comté, associant les établissements dans une logique de complémentarité, va dans le même sens. Le succès d'aujourd'hui confirme que nous sommes sur la bonne voie ». Le Nord Franche-Comté est l'un des 24 lauréats de l'appel à projets Territoires d'innovation ;

l'ensemble de ses actions représente un budget de 70 millions d'euros sur huit ans. En Bourgogne - Franche-Comté, Dijon Métropole est également lauréat avec son projet Alimentation durable 2030.

Contacts :

UTBM  
Ghislain Montavon  
Tél. +33 (0)3 84 58 30 00

Université de Franche-Comté  
Damien Charlet  
Tél. +33 (0)3 81 66 50 04

ESPRIT D'ÉQUIPE

## STRUCTURE DE RECHERCHE UNIVERSITAIRE DE VOLÉE OLYMPIQUE

Depuis longtemps engagée dans la promotion de la pratique sportive et des valeurs olympiques, l'université de Franche-Comté a franchi une nouvelle étape avec la signature en septembre dernier

des Sports et du président du Comité international olympique (CIO). Cette convention engage l'université aux côtés du Comité régional olympique et sportif (CROS) Bourgogne - Franche-Comté, dans un projet

Une fois installé à Besançon au sein de l'université, il veillerait à favoriser les liens entre les acteurs du monde olympique et les chercheurs, à organiser des événements comme des colloques ou des conférences, à mettre en place des enseignements liés à l'olympisme et à créer des diplômes en partenariat avec des universités à l'international, notamment en Grèce et en Corée du Sud, pays avec lesquels l'université a été engagée dans des recherches et des actions autour des Jeux Olympiques. La signature de convention pour le projet de création du CEROU intervient dans le droit fil d'une démarche soutenue par l'université et portée par Éric Monnin, enseignant-chercheur en histoire et sociologie du sport, spécialiste de la question olympique, aujourd'hui vice-président de l'université de Franche-Comté délégué à l'Olympisme - Génération 2024. « L'UFC a été l'une des premières en France à recevoir le label Génération 2024, qui concerne aussi bien les recherches, les formations

inédit en France : si 43 structures de ce type, impliquant 24 pays, sont répertoriées à l'international, le CEROU serait la première sur le territoire français. Ces centres, universitaires pour la majorité d'entre eux, qu'ils soient au Brésil, en Espagne ou en Chine, sont reconnus par le Comité international olympique en vertu de deux critères : ils gèrent des projets

de recherche et entretiennent des relations avec le CIO et le monde olympique. Ils peuvent aussi être habilités à délivrer des diplômes. Le CEROU français s'inscrirait dans cette mouvance.

d'une convention visant à lancer le projet de création d'un Centre d'études et de recherches olympiques universitaires (CEROU), sous le haut patronage de la ministre



Flamme olympique des JO de PyeongChang - Cety Images

et les équipements que les services administratifs comme, entre autres, la Direction des relations internationales et de la francophonie. » L'université a participé à l'étude d'opportunité de la candidature olympique pour les jeux de 2024 à Paris, pour lesquels elle interviendra

jusqu'à leur déroulement voire au-delà ; elle est impliquée dans les Jeux Olympiques de la jeunesse (JOJ) prévus en janvier prochain à Lausanne, et organise chaque année des actions de sensibilisation aux valeurs de l'olympisme auprès des étudiants et en direction

des lycéens. La convention a été signée le 20 septembre, journée internationale du sport universitaire : tout un symbole...

Contact :  
Université de Franche-Comté  
Éric Monnin  
Tél. +33 (0)3 81 66 50 04  
eric.monnin@univ-fcomte.fr

## SCIENCES INFIRMIÈRES

# INTERMED, NOUVEAU MODÈLE DE SOINS POUR LES PATIENTS ATTEINTS DE MALADIE CHRONIQUE



Inviter un patient à prendre son traitement régulièrement, éviter une radio ou une prise de sang déjà faites par ailleurs, anticiper l'urgence qui mène à l'hôpital : le souhait d'améliorer la prise en charge des patients atteints de maladie chronique nécessite de faire converger informations et prises de décisions vers une personne ressource à l'intérieur du système de santé. Si le médecin généraliste semble le plus légitime pour occuper cette position centrale, son emploi du temps surchargé et une durée de consultation contrainte rendent cette tâche difficile, voire impossible à mener à bien.

La solution préconisée par le projet INTERMED est de recourir à la collaboration d'infirmières et d'infirmiers spécialisés dans l'accompagnement et l'éducation thérapeutique des patients. En marge

de la consultation médicale proprement dite, la consultation infirmière se déroule sous la forme d'entretiens : l'accent est mis non plus sur la maladie mais sur la personne, sa situation personnelle, la façon dont elle vit, dont se passent ses journées... C'est à partir de ces échanges

privilegiés que les priorités sont établies, en lien avec le médecin : une demande de prise en charge à domicile ou le recours à une aide de quartier, l'organisation de séances d'éducation thérapeutique, une coordination des soins plus efficace... Inspiré du *Chronic Care Model* testé dans d'autres centres médicaux, aux États-Unis notamment, le dispositif concerne tous les types de maladies chroniques, insuffisances cardiaques ou respiratoires, maladies cardiovasculaires, rhumatismales, digestives ou psychiatriques, cancers, démences... « Près de la moitié des patients rencontre des difficultés en raison d'une situation personnelle compliquée, divorce, chômage, ou parce qu'ils sont atteints de plusieurs pathologies chroniques. 5% d'entre eux sont en situation complexe, voire critique : ce sont à ces patients

que le programme s'adresse en priorité », raconte Olivier Walger, enseignant-chercheur en sciences infirmières à la Haute Ecole Arc Santé, et chef du projet de recherche INTERMED.

Différentes expérimentations sont menées dans les cantons de Vaud et de Neuchâtel, comme à la Chaux-de-Fonds depuis 2014 ; l'intervention de la Haute Ecole Arc Santé, elle, a démarré en 2017 pour quatre ans. L'équipe dirigée par Olivier Walger a pour missions principales, à travers une recherche-action participative, de réaliser des évaluations auprès des patients et des médecins, et d'émettre des recommandations pour le développement du modèle à partir des retours du terrain.

« Les patients se sentent écoutés, compris et soutenus. Le médecin voit plus de sens à ce qu'il fait, et l'infirmier ou l'infirmière se sentent valorisés dans leur travail. » Mais bien que l'expérience soit prometteuse, le projet aura encore à faire les preuves de sa pertinence, en termes de réduction des coûts, pour espérer voir ce nouveau modèle de soins s'intégrer au système de santé suisse.

Contact :  
Haute Ecole Arc Santé  
Olivier Walger  
Tél. +41 (0)32 930 12 32  
olivier.walger@he-arc.ch

## HYDROGÈNE

## ROAD MAÎTRISE LA CHAÎNE DU FROID



Il n'affiche encore que 1 500 km au compteur : ROAD est le premier semi-remorque frigorifique à hydrogène à s'engager sur les routes. L'énergie nécessaire à la fabrication du froid pour ses 38 tonnes de cargaison est produite par un groupe électrogène à pile à combustible (PAC), chargé de transformer l'hydrogène, contenu dans des réservoirs, en électricité. Un procédé zéro pollution, garantissant une autonomie de trois jours, et de surcroît silencieux, un avantage pour le confort des riverains des centres-ville comme pour le sommeil des chauffeurs. Une solution hydrogène qui ne manque pas de susciter l'intérêt à l'heure de la transition énergétique. L'enjeu est de taille : aux États-Unis, pour ne citer qu'un exemple, l'alimentation gazole des frigorifiques ne représente pas moins de 10 % des émissions de CO<sub>2</sub> sur l'ensemble du territoire. En France, l'entreprise normande Chéreau produit 5 000 semi-remorques frigorifiques par an, soit 15 % du marché européen. C'est elle qui pilote le projet collaboratif

tégration de systèmes hydrogènes, qui intervient ici par son laboratoire partenaire FEMTO-ST, et de la *start-up* H2SYS, dont l'activité est spécifiquement orientée vers la mise au point de groupes électrogènes fonctionnant à l'hydrogène. FCLab remporte ici un véritable défi en intégrant le système dans un milieu aussi contraignant que celui du frigorifique, une première mondiale.

## UNE, DEUX, TROIS PILES À COMBUSTIBLE

H2SYS signe une innovation majeure en créant un système doté non pas d'une mais de trois piles à combustible, se relayant et se complétant en fonction des besoins en puissance du groupe électrogène : la production du froid est susceptible de varier de +20°C pour des médicaments à -25°C pour des surgelés, par n'importe quelle température extérieure. « Ces solutions *multistack* pourraient à terme constituer des briques énergétiques adaptables à tout système à hydrogène embarqué,

ROAD, dont les améliorations innovantes assurent des gains de consommation d'énergie à l'ensemble du camion. Le groupe froid fonctionnant à l'hydrogène est une réalisation conjointe de la fédération de recherche FCLab, leader académique européen de l'in-

quels que soient les véhicules et les besoins en énergie, et ainsi garantir l'optimisation des coûts de production, expliquent Daniel Hissel, directeur du FCLab, et Sébastien Faivre, directeur de H2SYS. Le système PAC développé pour ROAD affiche une puissance de 10 kW, il est alimenté par de l'hydrogène stocké à haute pression (350 bars), dans des réservoirs d'une capacité totale de 14 kg. Le système est complété par des batteries pour répondre aux dynamiques de puissance.

## TESTS CONCLUANTS

ROAD a passé avec succès différents tests de certification qui témoignent de ses capacités, à charge et sur route. Une grande satisfaction pour Neigel Marx, post-doctorant en charge de ce projet à l'université de Franche-Comté et à FCLab/FEMTO-ST, et pour l'ensemble des membres du consortium. Une ultime étape attend ROAD : un trajet de trois jours entre la France et l'Allemagne, pour valider définitivement ses bons résultats. ROAD est un projet FUI (Fonds unique interministériel) mené sur trois ans (2016/2019), doté d'un budget de 5,5 millions d'euros ; financièrement soutenu par la Région Bourgogne - Franche-Comté et BPI France, il est labellisé par le Pôle Véhicule du Futur.

## Contacts :

Dpt Énergie - Institut FEMTO-ST  
UFC / ENSMM / UTBM / CNRS

Fédération FCLAB - UTBM / UFC /  
ENSMM / CNRS / IFSTTAR / UL / ECL / INSA  
Daniel Hissel / Neigel Marx  
Tél. +33 (0)3 84 58 36 21  
daniel.hissel@univ-fcomte.fr  
neigel.marx@univ-fcomte.fr

H2SYS - Sébastien Faivre  
info@h2sys.fr - www.h2sys.fr

## AFFINITÉS MOLÉCULAIRES

## TRAITEMENT DE SURFACE AU NATUREL

La prise de conscience de leur toxicité pour l'homme et son environnement conduit les chimistes à revoir les produits et les procédés qu'ils utilisent. La directive européenne REACH édicte de nouvelles normes allant dans ce sens depuis son entrée en vigueur en 2007, cent ans exactement après le dépôt de brevet de la phosphatation. Cette réaction chimique obtenue en solution aqueuse est toujours utilisée pour protéger les métaux de la corrosion. Une formulation concoctée à base d'acide phosphorique et une opération nécessitant de nombreux rinçages, génératrice d'effluents nocifs. Doctorante à l'Institut UTINAM, Agathe Rougier a jugé qu'il était

grand temps de moderniser le procédé afin de le rendre plus propre, plus sûr, bref conforme aux attendus d'aujourd'hui. Dans sa thèse de chimie menée sous la direction de Fabrice Lallemand, elle travaille à partir de l'autoassemblage de molécules sur des surfaces métalliques. « Les molécules sont attirées sur une plaque en fer ou en inox, et s'organisent seules, verticalement, à sa surface. L'innovation est de créer de l'adhérence au niveau des terminaisons des molécules pour garantir la tenue de la peinture. » Ajoutés au procédé, des inhibiteurs naturels assurent une protection anticorrosion au métal. Avec des propriétés éprouvées, déjà

descriptes dans la littérature scientifique, l'*Aloe vera* est l'inhibiteur naturel choisi par la jeune chercheuse. « Facile à travailler, disponible sur les marchés et pas très coûteux, d'autant qu'il en faut très peu, c'est pour moi le végétal le plus adapté pour apporter des propriétés anticorrosion au métal. » L'ensemble est réalisé à l'échelle du nanomètre, quand la sous-couche obtenue par phosphatation est d'une épaisseur de 20 à 30 µm. Le procédé, également réalisé en solution aqueuse, ne nécessite plus qu'un seul rinçage, n'a recours à aucun produit toxique, et donc n'implique aucun traitement des effluents. Pour l'instant, conférer de l'adhérence et des propriétés anticorrosives à la surface métallique s'opère en deux temps. Agathe Rougier met à profit sa troisième année de thèse pour étudier comment combiner les deux opérations dans une seule solution aqueuse.

L'autoassemblage de molécules est déclinable à d'autres applications, il permet par exemple de garantir une moindre usure de matériels sollicités par les frottements, comme les vis. « Il suffit de changer de molécules ! », sourit Agathe Rougier, qui espère bien voir les résultats de ses travaux un jour exploités par l'industrie.



Aloe Vera - Photo Pixabay

descriptes dans la littérature scientifique, l'*Aloe vera* est l'inhibiteur naturel choisi par la jeune chercheuse. « Facile à travailler, disponible sur les marchés et pas très coûteux, d'autant qu'il en faut très peu, c'est pour moi le végétal le plus adapté pour apporter des pro-

Contact :  
UTINAM - UFC / CNRS  
Agathe Rougier / Fabrice Lallemand  
Tél. +33 (0)3 81 66 66 49  
rougier.agathe@gmail.com  
fabrice.lallemand@univ-fcomte.fr

## TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

## BOURSE DU CARBONE : QUEL DROIT À POLLUER ?

On dirait presque un jeu de société dans lequel le gagnant serait le plus vertueux de tous les joueurs. Sauf que dans ce jeu organisé à l'échelle de la planète, engageant rien de moins que son devenir, les règles sont peut-être trop floues pour véritablement aller dans le sens de l'intérêt collectif. Le principe ? Pour lutter contre

les émissions de CO<sub>2</sub> et autres gaz à effet de serre responsables du changement climatique, des industriels disposent de permis de polluer : s'ils dépassent les quotas fixés, ils sont susceptibles de payer des pénalités. Mais ils peuvent aussi acheter de nouveaux droits auprès d'entreprises qui ne les auraient pas utilisés. En Europe,

les participants sont tous les États membres de l'Union, auxquels s'ajoutent l'Islande, le Liechtenstein et la Norvège. Le dispositif est issu du protocole de Kyoto, qui en 1997 a posé les bases de ce mécanisme au niveau mondial, inspiré du principe du pollueur-payeur. En 2005, le protocole entre en vigueur et Maria Mansanet Bataller

démarre sa thèse en finance : c'est le sujet des permis négociables que la doctorante choisit de traiter, et qu'elle continue à intégrer à ses recherches, aujourd'hui enseignante à l'université de Franche-Comté et membre du CRESE.

## CO<sub>2</sub> ET AUTRES GAZ À EFFET DE SERRE

« Il existe deux moyens d'évaluer et de faire payer le prix des émissions de CO<sub>2</sub> : la taxe carbone, qui s'applique à de nombreux domaines d'activité comme l'agriculture ou les transports, et le marché, sur lequel s'échangent les droits à polluer, délivrés en fonction du volume d'activité de l'entreprise, un système imaginé pour responsabiliser les entreprises industrielles et les inciter à réduire leurs émissions, notamment en modernisant leur appareil de production. »

Les secteurs concernés sont essentiellement ceux exploitant des énergies fossiles (raffineries de pétrole...), les producteurs d'acier, de ciment, de papier, de céramique, et la chimie. Le terme de carbone est ici employé de façon générique : outre le CO<sub>2</sub>, il comprend le méthane, le protoxyde d'azote, l'ozone et les chlorofluorocarbures, qui sont tous des gaz à effet de serre, et dont les émissions sont converties en équivalent CO<sub>2</sub> pour l'établissement des droits à polluer. Cette bourse au carbone n'est pas un marché financier comme les autres. Il est régulé par la Communauté européenne, qui a la possibilité de modifier les principes de son fonctionnement. Un permis correspond à une tonne équivalent CO<sub>2</sub> émis. « Son prix est fixé par le marché, très volatil, car dépendant d'un nombre important de facteurs comme le coût du pétrole, du gaz, du charbon, ou encore les conditions climatiques qui ont une influence sur la consommation d'énergie. »

Maria Mansanet Bataller analyse régulièrement les variations des prix des quotas et les comportements de ce marché particulier. Après des valeurs très basses observées pendant plusieurs années, le cours du permis se situe depuis avril 2019 entre 25 et 30 € ; ce prix est jugé encore trop peu élevé par les économistes pour inciter les entreprises à investir dans des solutions durables plutôt que payer des droits à polluer supplémentaires. « Le minimum dissuasif est estimé à 40 €. En dessous de ce seuil, certaines entreprises achètent puis échangent les permis

qui sont en excédent sur le marché, la spéculation l'emporte. » Les émissions de gaz à effet de serre ont baissé de 22 % dans la Communauté européenne (chiffre 2016) ; ce résultat louable ne saurait cependant être seulement imputé à la mise en place du dispositif en 2005 ; il résulte aussi de la baisse des activités industrielles liée à la crise de 2008.

Contact :  
 CRESE – Centre de recherche sur les  
 stratégies économiques - UFC  
 Maria Mansanet Bataller  
 Tél. +33 (0)3 81 66 20 39  
[maria.mansanet\\_bataller@univ-fcomte.fr](mailto:maria.mansanet_bataller@univ-fcomte.fr)

## FERMENTATION SOCIOLOGIQUE

# LE VIN, SOURCE DE CONVIVIALITÉ



De saveurs attendues en surprises gustatives, de bouteilles prestigieuses en pichets sans prétention, de récoltes mécanisées en vinifications biodynamiques, le vin suscite passion... et dégustation. Objet de toutes les attentions, le vin est aussi un objet d'étude pour Florent Schepens, directeur adjoint du LASA, le Laboratoire de sociologie de d'anthropologie de l'université de Franche-Comté.

*In vino veritas* ? Il n'y a pas qu'une vérité dans le vin, loin s'en faut, mais certaines tendances se dégagent des carafes... Le vin à la profonde robe rouge n'est pas sans évoquer le sang, une image largement cultivée par la religion chrétienne, le calice consacrant le vin en sang du Christ. Procurant force et vitalité, le vin est longtemps considéré comme un aliment, une évidence en France où il est encore servi

dans les cantines scolaires jusque dans les années 1950. Le message est radicalement opposé 30 ans plus tard : le vin est étiqueté dangereux, on conseille la prudence aux femmes enceintes, une position qui se durcit au fil du temps jusqu'à la prohibition générale de l'alcool auprès de ce public, et la modération pour tous les autres. Pour rester actif et efficace au bureau ou sur un chantier, mieux vaut s'abstenir de boire du vin à table à midi : de nourriture quotidienne au même titre que le pain, le vin est désormais réservé à la fin de semaine. L'apéritif du vendredi soir marque le début d'une parenthèse festive et récréative de deux jours, en opposition à la semaine de travail ; les cadres, avec ce rituel, s'accordent une pause ancrée dans le présent, eux qui sont toujours occupés à planifier et à gérer à l'avance. Cependant la consommation du vin est une pratique collective, quel que soit l'âge des consomma-

teurs. S'il est concevable de boire une bière ou un whisky seul dans la semaine, l'usage regarde d'un mauvais œil celui qui siffle un verre de vin dans son coin. Le vin est un symbole de partage, il fait le lien entre les convives autour d'une table, et cette symbolique est largement encouragée par la gent féminine. « Le vin marque un passage d'âge. L'adolescent devenant jeune adulte entre dans la vie de couple ou l'enseignement supérieur, il adopte de nouveaux comportements et d'autres façons de fabriquer du lien social, selon un modèle et des valeurs plutôt portés par les jeunes femmes », explique Florent Schepens. Le vin est l'alcool préféré des Français, de plus en plus à mesure qu'on avance en âge. Et pour la majorité, vin signifie avant tout vin rouge. La couleur fonde d'ailleurs des associations culinaires pas toujours motivées. Le rouge s'accorde à la viande, rouge elle aussi ; la transparence du blanc, rappelant l'élément eau,

convient au poisson. « Les accords mets et vins sont construits de façon normée, sur des bases très culturelles », estime le sociologue. Le vin en tout cas possède une légitimité presque exclusive. Évoluant de la jeunesse à la maturité, parfois jusqu'à la mort gustative, le vin est vivant, changeant, une analogie avec son propre cycle de vie qui n'est pas pour déplaire à l'être humain. Issu de fruits, considéré comme plus naturel que les alcools chauffés ou distillés, il paraît aussi moins dangereux pour la santé. Une croyance renforcée par la convivialité, voire les vertus antidépressives des pratiques de consommation du vin. Une vérité cependant : blanc, rouge, rosé, qu'importent la couleur et le flacon, l'alcool reste l'alcool...

Contact :  
Laboratoire de sociologie  
et d'anthropologie  
Université de Franche-Comté  
florent.schepens@univ-fcomte.fr

## NEUROSCIENCES AU DIAPASON

# ÉMOI SUR LE CONCOURS DE CHEFS D'ORCHESTRE DE BESANÇON

De l'indifférence au frisson musical, tout un registre d'émotions parcourt une salle lors d'un concert. Des sensations se diffusant dans le public, s'insinuant entre les musiciens et l'auditoire. Quels mécanismes neurophysiologiques sont à l'œuvre dans la propagation de l'émotion quand elle est collective ? C'est le mystère que Thibaut Chabine tente de percer dans sa thèse menée au Laboratoire de neurosciences intégratives et cliniques de l'université de Franche-Comté, par une investigation conduite sur le terrain : le concours de jeunes chefs d'orchestre qui

traditionnellement prend place lors du Festival international de musique de Besançon. Une expérience pour laquelle des volontaires ont accepté de livrer leurs émotions *via* des électrodes et des capteurs placés sur leur tête, leurs mains et/ou leurs pieds. Les premières transmettent par *bluetooth* des enregistrements



Photo P. Rabay

de l'activité électrique cérébrale, les seconds mesurent l'activité électrodermale indiquant les variations du système nerveux autonome et du rythme cardiaque,



révélatrices de l'émotion. C'est donc munis de cet arsenal qu'une quarantaine de spectateurs et musiciens ont investi le Kursaal de Besançon les 17 et 18 septembre derniers. Chaque participant

disposait également d'un smartphone doté d'une application permettant de noter en continu l'intensité des émotions ressenties, pour une future analyse comparative avec les indices neurophysiologiques. « L'objectif est de comprendre ce qui se passe dans un groupe et dans un environnement particulier, explique Thibaut Chabin. Et mener l'expérience en conditions naturelles revêt toute son importance, car il est difficile de reproduire et de simuler en laboratoire la complexité d'un environnement naturel pour l'étude des interactions humaines ; cela peut mener parfois à des résultats contradictoires ». Les participants se sont prêtés au jeu autour des mêmes extraits musicaux, interprétés par les mêmes musiciens, mais dirigés par différents chefs d'orchestre. « Il ne s'agissait pas de mesurer l'émotion ressentie à l'écoute d'une œuvre elle-même, mais bien de celle qui passe entre un chef d'orchestre, un ensemble musical et le public. » Il va sans dire que ces ressentis n'ont aucunement été pris en compte par le jury pour évaluer les prestations ! Deux ans de préparation ont été nécessaires pour mettre

au point cette expérience, la récupération de signaux de fréquence très élevée et le traitement de l'information se révélant être de véritables défis techniques. La musique en revanche représente un terrain d'études idéal, car elle déclenche facilement des émotions, aidant ainsi leur prise de mesures. Grâce à cette expérience, une meilleure connaissance des processus neurophysiologiques impliqués dans la synchronisation de groupe pourrait ensuite être mise au service de publics en difficulté, comme les personnes autistes, ou utilisée dans le cadre de l'évaluation de la conscience de patients en état végétatif à l'hôpital, lorsque les tests classiques ne peuvent saisir les émotions qu'ils ressentent. Cette étude a été soutenue par le Laboratoire de neurosciences de l'université de Franche-Comté, l'INSERM, le CHU de Besançon et la Région Bourgogne - Franche-Comté.

Contact :  
Laboratoire de neurosciences intégratives et cliniques - UFC  
Thibaut Chabin  
Tél. +33 (0)3 81 21 85 31  
thibaut.chabin@univ-fcomte.fr

PUBLICATION

## SOCIÉTÉS À RESPONSABILITÉ PARTAGÉE

Nul n'est censé ignorer la loi... Mais davantage formés aux aspects économiques de leur activité qu'aux règles juridiques qui s'imposent à eux, les dirigeants de société sont souvent peu avertis des responsabilités qui sont les leurs, une méconnaissance entretenue par la complexité et les ambiguïtés qui sont parfois celles du Droit. C'est pour les informer et répondre à

leurs interrogations que l'ouvrage *Les responsabilités du dirigeant de société* propose une analyse croisée entre droit civil et droit pénal. Sous la direction de Béatrice Lapérou-Schneider et Olympe Dexant-de Bailliencourt, chercheuses au Centre de recherches juridiques de Franche-Comté (CRJFC), le livre est bâti autour des principales contributions du



colloque organisé sur ce sujet en février 2017 à l'université de Franche-Comté.

L'une des premières difficultés concerne l'identification même de la personne responsable aux yeux du droit. Si pour le PDG de la société anonyme c'est évident, il n'en va pas de même pour les administrateurs, les membres du conseil de surveillance, les cadres dirigeants... autant de fonctions correspondant à des responsabilités différentes au sein de l'entreprise. La délégation de pouvoirs, qui en France relève de la seule jurisprudence, apporte par ailleurs son lot de complications. Une distinction est aussi à opérer selon que l'entreprise est *in bonis* ou à l'inverse en liquidation judiciaire. Dans ce dernier cas, la responsabilité du dirigeant pourra plus facilement être engagée, notamment parce que celle de la société, insolvable, ne pourra plus être recherchée. La répression, qui va de pair avec la notion de responsabilité pénale, est une autre source de questionnement et soulève des problèmes épineux : les infractions susceptibles de voir sanctionner le dirigeant sont multiples et se doublent parfois d'une présomption de culpabilité quant à l'intention... Au-delà du droit civil et du droit pénal dont il est ici principalement question, et dans le souci de balayer le plus largement possible le sujet, l'ouvrage interroge plus spécifiquement le droit du travail, le droit fiscal, le droit des activités bancaires et financières, qui eux aussi sont parties prenantes de la définition des responsabilités incombant aux dirigeants. Une lecture salutaire pour l'exercice éclairé d'une activité civile, commerciale ou industrielle.

Lapérou-Schneider B.,  
Dexant-de Bailliencourt O.,  
*Les responsabilités du dirigeant de société,  
Regards croisés de droit civil et de droit pénal,*  
Éditions Dalloz, 2018

## PUBLICATION

# BACTÉRIES DE L'EXTRÊME

Les aventuriers les plus téméraires et les expéditions les plus folles ont fini par apporter les preuves scientifiques d'une théorie hautement improbable : la vie microbienne existe dans les contrées hostiles, elle est capable de résister au froid extrême et a même raison du temps qui passe. Ce constat ouvre plus grand la porte à une suggestion tout aussi impensable, dont la science-fiction, elle, ne doute pas : y aurait-il une vie possible ailleurs que sur Terre ? Ce lien entre contrées glacées et galaxies lointaines, c'est la présence d'eau qui le rend envisageable. C'est le sujet de l'ouvrage *De l'Antarctique aux espaces interstellaires* écrit par Yvon Michel-Briand, docteur en médecine et docteur en sciences physiques, professeur émérite de microbiologie de l'université de Franche-Comté. L'auteur recense les investigations et consigne les analyses, qui, au fil des décennies, ont enrichi la connaissance : les explorations menées en Antarctique dans des lacs d'eau douce ou salée, en Arctique dans les glaces de l'océan ou le permafrost de son désert gelé, ont permis de répertorier des bactéries vieilles de dizaines voire de centaines de milliers d'années, au métabolisme toujours actif. Ainsi les glaces du lac Vida, en Antarctique, recouvrent une saumure dont chaque millilitre contient plusieurs millions de

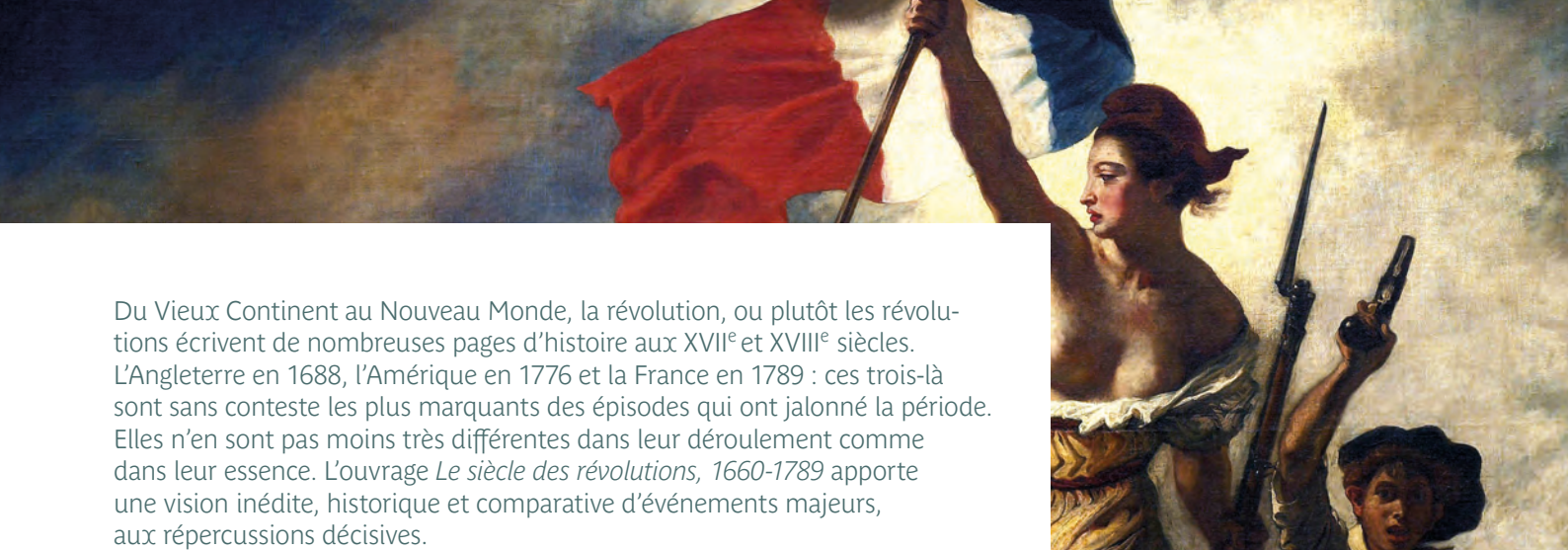
cellules appartenant à 32 espèces bactériennes différentes, une population comptant des cellules mères âgées de 2800 ans. La vie à très basse température existe aussi dans des milieux minéraux austères, où l'on n'explique pas comment les cellules se maintiennent en vie. Yvon Michel-Briand rappelle la découverte, en 2014 à l'extrême nord-est de la Sibérie, d'un virus géant datant de plus de 30 000 ans, dont le pouvoir infectieux était resté intact. Il dresse un inventaire de toutes les espèces répertoriées et décrit leurs principales caractéristiques,

les conditions de leur existence et pour certaines même de leur croissance.

Des profondeurs gelées des océans terrestres, l'auteur s'aventure jusqu'aux confins de la Galaxie, depuis la planète Mars, qui fut un jour peuplée de lacs, jusqu'à la comète Tchouri, riche en oxygène mais sur laquelle aucune vie n'a été détectée. Et ailleurs ? L'eau, l'oxygène, indispensables à la vie telle qu'on la définit sur Terre, sont présents dans bien d'autres corps célestes... « La découverte d'organismes dans des environnements extrêmes, que l'on pensait inaptes à toute existence, a rendu plus crédible la recherche d'une vie en dehors de la Terre. » L'aventure continue...

Michel-Briand Y., *De l'Antarctique aux espaces interstellaires, Les bactéries du froid,*  
Éditions L'Harmattan, 2018





Du Vieux Continent au Nouveau Monde, la révolution, ou plutôt les révolutions écrivent de nombreuses pages d'histoire aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles. L'Angleterre en 1688, l'Amérique en 1776 et la France en 1789 : ces trois-là sont sans conteste les plus marquants des épisodes qui ont jalonné la période. Elles n'en sont pas moins très différentes dans leur déroulement comme dans leur essence. L'ouvrage *Le siècle des révolutions, 1660-1789* apporte une vision inédite, historique et comparative d'événements majeurs, aux répercussions décisives.

HISTOIRE [ RENVERSANTE ]

# RÉVOLUTIONS À RÉPÉTITION

Révolution ? Le terme se prête à bien des réalités. C'est particulièrement vrai aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles, où il pouvait aussi bien qualifier une véritable insurrection que la chute d'un ministère ou un changement d'alliance internationale. Les épisodes révolutionnaires sont cependant réellement nombreux en cette période charnière, à l'origine de bouleversements politiques et sociaux importants,

Les épisodes révolutionnaires sont reliés entre eux, s'inspirent les uns des autres

voire extraordinaires. En Europe, des troubles d'intensité plus ou moins variable éclatent à Genève, en Irlande, en Hollande, aux Pays-Bas autrichiens, l'actuelle Belgique. Les révolutions anglaise, américaine et française sont d'une envergure majeure et ont, chacune avec ses caractéristiques propres, gagné un statut de modèle qui n'a pas manqué d'influencer les autres. En 1688, après une période marquée par la tentation d'un pouvoir absolu et quelques années de république sous la férule

de Cromwell, le « laboratoire anglais » propose l'établissement d'une monarchie limitée par le Parlement, selon une recette déjà bien connue des Anglais. À l'inverse, en conduisant à l'indépendance des colonies britanniques qui deviennent les premiers États-Unis d'Amérique, la révolution américaine de 1776 est d'un caractère totalement novateur. « L'année sans pareille » que vit la France en 1789 annonce, elle, des bouleversements impensables, sans précédent, sur fond d'enthousiasme populaire et de folie meurtrière, et cloue de stupeur le monde entier. « Le concept de révolution change au fil des événements, l'idée de nouveauté entre bientôt pleinement dans sa définition. La révolution se durcit également. Après 1789, personne n'osera plus qualifier un simple changement de ministère de révolution ! », raconte Edmond Dziembowski, qui signe avec son ouvrage *Le siècle des révolutions* une formidable analyse historique, extrêmement documentée. Professeur d'histoire moderne à l'université de Franche-Comté et chercheur au Centre Lucien Febvre, Edmond Dziembowski est spécialiste du XVIII<sup>e</sup> siècle et de ses tourmentes politiques, en Europe et en Amérique du Nord.

Dans un précédent livre, il décrit la guerre de Sept Ans, qui de 1756 à 1763 opposa la Grande-Bretagne et la France pour leur suprématie coloniale, et entraîna une partie du monde dans un conflit préfigurant la Première Guerre mondiale. Il note, côté français, la naissance de l'idée de « citoyenneté active », qui fondera l'esprit de 1789.

« Cet exemple montre combien les épisodes révolutionnaires sont reliés entre eux, s'inspirent les uns des autres jusqu'à, pour certains, se démarquer par des idées novatrices et des actions spectaculaires. »

### « VIVRE LIBRE OU MOURIR »

Fidèle au passé, la révolution anglaise de 1688 peut paraître bien fade par rapport à ses successeurs. Elle conserve pour socle un système politique traditionnel, la monarchie limitée, l'institution législative voyant cependant ses pouvoirs renforcés par rapport à la couronne. Le modèle anglais guidera différentes rébellions sur le continent européen, avant d'être balayé par le vent nouveau apporté d'outre Atlantique. En 1776, la déclaration d'indépendance américaine se double de la déclaration des droits de l'État de Virginie, qui prévoit la possibilité de faire table rase d'un système politique en cas de tensions graves dans le pays. Pionnière en son genre, celle-ci sera une source d'inspiration pour les révolutions suivantes, qui seront nombreuses à s'accompagner elles-aussi de déclarations des droits de l'Homme, d'engagements et de serments. Le modèle américain supplante désormais le modèle anglais en Europe. La révolution française est une parfaite illustration de ce changement de cap. Dans ses premiers mois, elle se borne à vouloir reconsidérer le pouvoir monarchique selon l'exemple anglais. La convocation des États généraux puis le serment du Jeu

de Paume, donnant naissance à la première Assemblée nationale, font résolument entrer la révolution dans le camp de la nouveauté.

« Un acteur majeur apparaît sur scène, c'est le peuple, et cela change tout. Le peuple fait enfin entendre sa voix et comprend qu'avec cette prise de parole, tout devient possible. » Même l'abolition des privilèges, concept sur lequel repose toute la construction de l'Ancien Régime : la nuit du 4 août était impossible à imaginer encore quelques mois auparavant.

« À la veille de la prise de la Bastille, la révolution de France semble réussie, mais la Révolution française ne fait que commencer. » Avec elle s'établit un modèle inédit. Le peuple puise dans l'idéal des Lumières de quoi justifier son idéologie et ses revendications, a conscience de vivre dans un siècle de progrès. Les idées circulent, bien mieux qu'on le croit.

« Au XVIII<sup>e</sup> siècle, un Français sur deux sait lire », rappelle Edmond Dziembowski. Même si les contextes politiques sont différents d'un pays à l'autre, les liens se développent et les connexions sont fortes. Parallèlement la conception de l'histoire change. Jusque-là vue avec fatalisme comme un éternel recommencement, l'histoire prend désormais la mesure de la notion de progrès et porte l'espoir de temps meilleurs. « Se nourrissant des progrès accomplis par les sciences, les lettres et les arts, cette époque devait nécessairement s'achever par un tel feu d'artifice » souligne Edmond Dziembowski à propos de 1789. Et le siècle durer 130 ans. Il n'en fallait pas moins pour contenir toutes ces révolutions.

Dziembowski E., *Le siècle des révolutions, 1660-1789*, Éditions Perrin, 2019

Dziembowski E., *La guerre de Sept Ans, 1756-1763*, Éditions Perrin, 2015.

Cet ouvrage a reçu le prix Chateaubriand 2015 et le prix Guizot 2015 de l'Académie française. Il a fait l'objet d'une réédition en 2018 en format poche.

« À la veille de la prise de la Bastille, la révolution de France semble réussie, mais la Révolution française ne fait que commencer »



Contact : Centre Lucien Febvre  
Université de Franche-Comté  
Edmond Dziembowski  
Tél. +33 (0)3 81 66 54 33  
edmond.dziembowski@univ-fcomte.fr



Bere Von Awstburg - Pixabay

Longtemps absentes du discours philosophique, les plantes suscitent depuis quelques années un intérêt voire un engouement inédits, donnant un sens nouveau à la place de l'homme dans l'univers. Les philosophes de l'université de Franche-Comté apportent à cette mouvance une dimension historique et ethnographique, étayant la réflexion contemporaine d'un socle de connaissances cultivées depuis l'Antiquité.

PHILOSOPHIE [ ENVIRONNEMENTALE ]

# LE VÉGÉTAL RÈGNE À NOUVEAU SUR TERRE

Le besoin actuel de renouer avec la nature renvoie à des questionnements fondamentaux

Les plantes ont rendu le monde viable : cette allégation prononcée comme une évidence par le philosophe italien Emanuele Coccia suffit à redonner toute sa place au règne végétal dans la concep-

tion de l'univers. Au-delà de la crainte qu'inspire la crise environnementale, le besoin actuel de renouer avec la nature renvoie à des questionnements fondamentaux. « Les plantes, objet perdu dans l'histoire des sciences, est de nouveau au centre de la réflexion philosophique », explique Sarah Carvalho, responsable de l'axe Humanités environnementales

dédié à ces questions au sein du laboratoire de philosophie de l'université de Franche-Comté. Aux côtés de la philosophie, la sociologie, l'ethnologie, le droit et la botanique s'intéressent aussi aux plantes pour appréhender le monde différemment, pour savoir comment nous devons les considérer et vivre avec elles. C'est grâce aux plantes qui ont habité

la Terre bien avant nous qu'a eu lieu la « grande catastrophe de l'oxygène », responsable de la transformation d'une couche de l'atmosphère en une enveloppe riche de cet élément chimique, permettant le développement des êtres dits supérieurs. Le philosophe note le paradoxe de la situation : la vie humaine se nourrit d'une substance, l'oxygène, qui n'est rien d'autre qu'un déchet pour une plante...

Depuis quelques années, les scientifiques interrogent les processus de communication, de reproduction, de régénération des plantes. La cognition végétale est une idée qui fait son chemin, portée par la botaniste australienne Monica Gagliano, dont les livres sont des succès de librairie dans le monde entier. Considérer à nouveau les plantes bouscule une vision bien ancrée de l'humanisme moderne, séparant de manière forte la nature et la société. L'enseignement des sciences obéit à une scission du même type : d'un côté les sciences naturelles, de l'autre les sciences

humaines, alors que l'homme est pourtant bien un animal. Cependant, si l'intérêt pour les plantes revient en force ces dernières années, il ne faut pas oublier que certaines sociétés, ou certaines personnes à l'intérieur d'une société, vivent depuis longtemps en lien avec leur environnement végétal et avec la conscience d'appartenir à un ordre naturel bien plus vaste que le monde réduit à une vision anthropocentrée. Celles-là n'ont pas attendu la crise environnementale actuelle pour choisir de vivre en harmonie avec la nature. Les peuples huaorani en Équateur et makushi en Guyane, dépositaires de cette conception, sont étudiés par l'anthropologue Laura Rival, de l'université d'Oxford, qui vient de donner une conférence à leur sujet à Besançon.

## RACINES ANTIQUES

La considération pour les plantes et le sens accordé à leur existence dans l'ordre de l'univers trouve ses origines dès l'Antiquité, avec des idées véhiculées de façon plus ou moins pérenne au fil des siècles. C'est cette longue histoire que les philosophes bisontins se proposent de partager avec l'ensemble de la communauté scientifique, afin de nourrir la réflexion contemporaine d'un recul séculaire. Directeur du laboratoire Logiques de l'agir, Arnaud Macé est spécialiste de philosophie grecque ancienne. « L'Antiquité est une période clé car à cette époque sont nées des manières décisives de penser avec les plantes, pour l'étude du cosmos comme dans le domaine de la médecine. » Dans la cosmologie ancienne, les Grecs se servent des plantes, sources d'analogies et d'interprétation, pour unifier leur vision de l'univers. Au VI<sup>e</sup> siècle avant J.-C., Xénophane, physicien et penseur de la nature, imagine que des racines infinies ont le pouvoir de stabiliser la Terre.

Un siècle plus tard, Empédocle voit les quatre éléments, l'eau, l'air, la terre, le feu, comme autant de racines qui se rassemblent et produisent tous les êtres en se ramifiant. Les observations littérales servent également à nourrir la science. Ainsi, dès Homère, les plantes montrent « comment certaines choses prennent forme ». Le caillage du lait avec du suc de figuier est un modèle descriptif du processus de coagulation, du passage de l'état liquide à l'état solide à l'œuvre chez tous les vivants, minéraux, végétaux et animaux. « Plantes et médecine sont étroitement liées, notamment l'embryologie, pour laquelle les Grecs écrivent le premier traité de l'histoire de cette discipline, et qui devient parallèlement... un traité de botanique. » Se pose la question de savoir si l'embryon, aux premiers jours de vie, ne serait pas une plante. Au XVII<sup>e</sup> siècle, William Harvey fait encore écho aux conceptions antiques, alors même qu'il découvre la circulation sanguine qui révolutionne la médecine. Il considère lui aussi l'embryon comme un végétal, jusqu'à ce que soit attestée la présence de sang : c'est après les quatre premiers jours que l'embryon passe au stade animal. « Harvey conçoit la sève, le sang et le cycle de l'eau à l'échelle du cosmos de façon analogique », raconte Sarah Carvalho. Les idées et les façons de penser de l'Antiquité cheminent jusqu'au Moyen Âge et à la Renaissance, une histoire ponctuée de points de rupture liés à des inventions techniques telles que le microscope. Une pluralité de théories de la vie cohabitent au XII<sup>e</sup> siècle. D'un côté, des conceptions mécanistes

La vie humaine se nourrit d'oxygène, qui n'est qu'un déchet pour une plante...

amènent à critiquer l'idée d'une âme végétative et cherchent à réduire le phénomène de la vie à du mouvement.


Ainsi Descartes ne reconnaît pas de vie aux plantes, au motif qu'elles sont dénuées de chaleur. De l'autre côté, certaines recherches s'intéressent à la classification des êtres et voient de la vie partout, à des degrés de

perfection différents. « Les minerais, avec leurs filons comparés aux racines des plantes, sont considérés comme vivants à cette époque. » Dans un autre registre encore, la découverte de l'Amérique amène à celle de racines et de plantes inconnues. L'idée fait son chemin de développer de nouveaux médicaments à partir de ces végétaux, dont on espère que les vertus pharmaceutiques pourront endiguer des fléaux comme la syphilis.

Ces idées, pensées, croyances et recherches foisonnantes sont à l'étude dans le projet PHUTAM<sup>1</sup>. Elles sont à l'origine de l'animation de réseaux de recherches, de l'organisation de conférences et de colloques internationaux, dont le dernier, *Analogie et modèles végétaux en médecine*, s'est tenu à Besançon en octobre. Elles devraient mener à la création d'un master Humanités médicales à l'UFC : son originalité tiendra à son lien avec l'environnement.

<sup>1</sup> *Projet financé par le programme Chrysalide UFC 2019, une collaboration entre les laboratoires Logiques de l'agir et Chrono-environnement, associant également des chercheurs de l'université de Chicago et du Centre Jean Pépin (Paris).*

Contact :  
Laboratoire Logiques de l'agir - UFC  
Sarah Carvalho / Arnaud Macé  
sarah.carvalho@univ-fcomte.fr  
arnaud.mace@univ-fcomte.fr



Les matériaux de demain ne manquent pas d'audace. Inventifs à plus d'un titre, ils développent des propriétés inédites en même temps qu'ils suivent des options bien différentes pour y parvenir. Rien de comparable entre des polymères susceptibles de faire changer un objet de forme, des hydrures capables de faire passer l'hydrogène de l'état gazeux à l'état solide, ou des fibres végétales quittant le domaine textile pour investir celui de la mécanique. Rien, si ce n'est leur nouveauté et les développements qu'ils rendent possibles...

**GRAND FORMAT** [ MATIÈRES À RÉFLEXION ]

# MATERIAUX TOUS AZIMUTS

## IMPRESSION 4D EN GESTATION

*Decepticons, Autobots* et autres *Transformers* ne feraient-ils bientôt plus partie du domaine de la science-fiction ? Enseignant en conception mécanique à l'UTBM et chercheur au laboratoire ICB, Frédéric Demoly et son équipe du département COMM travaillent à mettre au point des objets capables de se déployer et de se reconfigurer selon de nouvelles formes. On connaît le canapé convertible qui se transforme en lit deux places ou la table escamotable s'agrandissant pour accueillir plus de convives : si la comparaison se tient, elle s'arrête là. Car les objets dont il est question ici seront capables de se transformer sans intervention humaine ou sans l'intermédiaire d'un quelconque actionneur : ce sont les matériaux qui les composent qui, par eux-mêmes, impulsent un mouvement, un changement de forme ou de propriété. Ces matériaux répondant à des stimuli sont dits intelligents. Il s'agit de polymères à mémoire de forme susceptibles de retrouver leur état initial après déformation, d'hydrogels capables de

s'étendre ou de se contracter au contact de l'eau, d'élastomères à cristaux liquides dont les comportements sont réversibles et répétables... Des matériaux connus, obtenus par impression 3D, mais qu'on ne sait pas encore intégrer directement à l'objet que l'on veut doter de mouvement. Combinant matériaux intelligents et fabrication additive, l'impression 4D est la technologie qui permettra cette prouesse. L'équipe de l'ICB-COMM reconsidère la conception de la fabrication d'un objet selon cette idée, dans l'objectif de mettre au point les premières machines d'impression 4D. Elle est l'une des seules au monde à travailler sur ces aspects de conception totalement novateurs, pour lesquels elle développe des théories basées sur la méréotopologie spatiotemporelle, des ontologies modulaires pour cartographier les connaissances métier, des méthodologies de conception et de simulation, et des outils numériques à base d'intelligence artificielle symbolique et connexionniste, en collaboration notamment avec Georgia Institute of Technology (Atlanta, USA), University of Colorado (Denver, USA) et l'université de Lorraine.

Ce sont les matériaux qui, par eux-mêmes, impulsent un mouvement, un changement de forme ou de propriété

## COMPORTEMENTS INTELLIGENTS ET ÉVOLUTIFS

Chaleur, humidité, lumière, électricité sont les stimuli qui enclenchent la réponse du matériau intelligent, provoquant la reconfiguration de l'objet. On peut imaginer une voiture ou un drone qui, au seul contact de l'eau, deviennent amphibies. Ou un robot qui se reprogramme en fonction des pièces qu'il doit saisir sur une chaîne de montage. Les stimuli déterminent donc les matériaux auxquels il est possible de recourir pour accomplir ces performances et créer des objets reconfigurables dans le temps.

Il s'agit dès lors de trouver les meilleurs paramétrages pour répartir cette matière intelligente à l'intérieur d'une structure. « Des modèles à base de voxels, autrement dit des pixels en 3D, servent à représenter un objet sous forme géométrique et à concevoir, simuler et prédire le comportement des matériaux intelligents à l'intérieur de cet objet ; ces modèles serviront à piloter la fabrication additive de l'ensemble, en intégrant les matériaux actifs exactement là où ils le prévoient ».

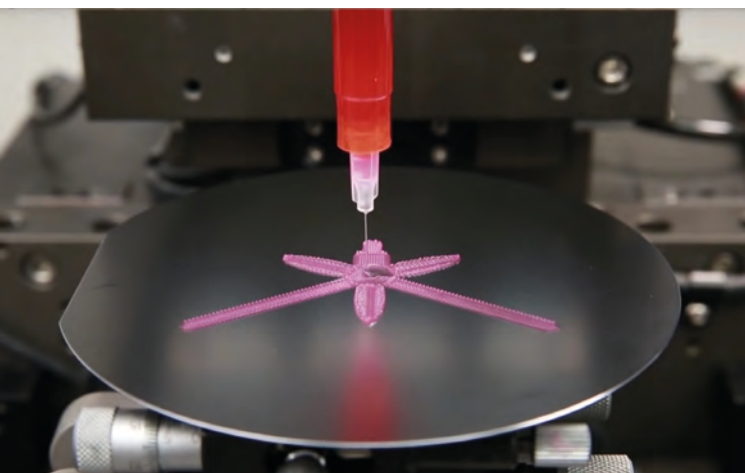
Les recherches en conception pour l'impression 4D ont démarré voilà quelques années seulement au niveau mondial. En cinq ans, l'équipe comtoise a su convaincre de leur intérêt, et a récemment obtenu deux financements majeurs pour développer ses travaux : l'un pour l'acquisition d'équipements, auprès de la Région Bourgogne - Franche-Comté (projet PAN, 2019-2022), l'autre pour énoncer une théorie de conception de ces objets évolutifs, dans ce domaine tout nouveau de l'impression 4D (projet PIA I-SITE HERMES, 2018-2021).



Photo Pixabay

## QUAND LA MATIÈRE DONNE L'ALERTE

Autre possibilité de rendre des matériaux intelligents : intégrer des composants électroniques (LEDs, transistors...), des composants piézoélectriques ou encore des palpeurs ultrasonores capables d'interroger la matière, de se reconfigurer en fonction des informations obtenues et d'agir. Ces intégrations sont dites complexes car elles font intervenir jusqu'à 200 éléments à positionner de manière précise et susceptibles de fonctionner ensemble. Yann Meyer et Rémy Lachat en ont fait un de leurs thèmes de recherche privilégiés. Chercheur au laboratoire Roberval de l'UTC (université de technologie de Compiègne), Yann Meyer est spécialiste des systèmes vibratoires et mécatroniques.



*L'orchidée imprimée à base d'hydrogel se mettra en mouvement au contact de l'eau*

Analyser la matière en temps réel pour intervenir à tout moment d'une opération de maintenance ou d'un processus de fabrication

Expert en procédés de fabrication des matériaux composites, Rémy Lachat effectue ses recherches au sein de l'équipe COMM à l'ICB. Tous deux assurent des enseignements en mécanique à l'UTBM. « Les compétences acquises pendant des années sont mises en application dans différents domaines, créant des connaissances nouvelles qui à leur tour viennent nourrir notre savoir-faire. » Les développements s'opèrent dans une optique de coconception mettant en synergie la science des chercheurs et les compétences métier des industriels. Le diagnostic de la matière est une application particulièrement visée : la matière est analysée en temps réel, lors d'une opération de maintenance ou d'un processus de fabrication, donnant à tout moment la possibilité d'intervenir pour corriger un défaut ou régler un problème. « En fonction des informations obtenues, l'électronique de commande est susceptible de se reconfigurer pour aller chercher de nouvelles données ou pour intervenir. »

S'il n'est pas encore question ici que la matière agisse par elle-même, elle a en tout cas la possibilité de lancer un message d'alerte pour prévenir d'une anomalie. Les chercheurs travaillent par exemple à l'intégration de capteurs piézo-électriques dans des matériaux composites pour établir un bilan de fatigue de pale d'éolienne ou de cuve de transport de fluides.

Des procédés analogues permettent de contrôler la qualité d'une réparation ou de repérer le temps de durcissement d'un matériau composite, une information utile pour optimiser une chaîne de fabrication. Toutes les déclinaisons semblent possibles : fabriquer des guêtres de protection pour un cheval, capables de repérer les endroits où leurs tibias prennent des coups, comme doter une prothèse de main de la possibilité de prévenir son utilisateur qu'il a fait tomber ses clés, par une lumière led ou une pression sur le bras... « La démarche de conception, centrée sur l'utilisateur, ses besoins, ses souhaits, ses capacités, oriente beaucoup de nos travaux actuels vers le bien-être, la santé et le handicap. Menée avec Florence Bazzaro, du laboratoire ELLIADD, elle nous permet de garantir l'acceptabilité, l'utilisabilité et l'utilité des produits développés, tout en assurant leur viabilité économique. Par ailleurs, c'est une approche que nous inscrivons dans des réflexions assez poussées autour des notions de produits éconoscients », concluent les chercheurs.

## STRUCTURER LA MATIÈRE POUR QU'ELLE PROTÈGE DU BRUIT

Donner une structure particulière à des matériaux leur confère des propriétés inédites. On parle de métamatériaux, car ils ne sont pas à proprement parler nouveaux. Du bois, du verre, des polymères ou encore du métal peuvent ainsi adopter des comportements inhabituels dès lors qu'on les structure selon une forme spécifique, ce qui permet de contrôler la propagation des ondes qui les traversent. C'est ainsi que les chercheurs du département MN2S de

## METABSORBER : LES MÉTAMATÉRIAUX VONT FAIRE GRAND BRUIT

Elle vient tout juste d'être créée ce début novembre : Metabsorber est la suite logique du programme de recherche éponyme et d'un procédé qui signe une véritable rupture technologique. Les métamatériaux acoustiques sont la preuve d'une efficacité et d'une faculté d'adaptation telles qu'ils devraient rapidement s'imposer dans la conception des

bâtiments et des aménagements d'espaces intérieurs. Cofondateur et dirigeant de la *start-up*, Aliyasin El Ayouch reçoit le soutien de l'Institut FEMTO-ST, à l'initiative de cette aventure scientifique, et souhaite très vite s'entourer d'une équipe assurant le développement technologique et commercial de ses produits, en lien fort avec le tissu industriel.

Encouragée par de nombreux prix décernés au niveau national ou en région, Metabsorber souhaite mettre son innovation au service de la lutte contre les nuisances sonores, dont les conséquences délétères sur la santé sont aujourd'hui reconnues. Pour ne citer qu'un chiffre : le coût social du bruit est estimé à 57 milliards d'euros chaque année en France.

l'Institut FEMTO-ST obtiennent des matériaux qu'ils nous protègent du bruit. Des travaux initiés par Abdelkrim Khelif et Mahmoud Addouche, développés par Aliyasin El Ayouch dans sa thèse consacrée aux métamatériaux acoustiques en 2012. Les recherches ont donné naissance à des panneaux structurés dans leur épaisseur, percés et/ou rainurés selon des formes géométriques étudiées pour absorber ou réfléchir les ondes acoustiques. Le procédé est révolutionnaire, il a conduit au dépôt de deux brevets internationaux fin 2015, et à la création de la *start-up* Metabsorber pour le développement et l'industrialisation de métamatériaux acoustiques. Toutes les options semblent possibles, pour lutter contre les bruits nuisibles comme pour améliorer la qualité de la diffusion de certains sons. Ainsi dans un espace fermé comme une salle de réunion, une grande partie des ondes sonores ricochent sur les parois et les murs, et leur réverbération s'amplifie au fil d'une journée de travail. Pour limiter voire supprimer ce phénomène, les métamatériaux acoustiques absorbent les ondes indésirables. Placés autour de groupes de ventilation, ils stoppent les bruits de moteur tout en laissant circuler l'air. Dans un théâtre, l'architecture des panneaux est étudiée pour réfléchir les ondes de manière appropriée dans la salle plutôt que les absorber, évitant ainsi un son trop feutré. Les métamatériaux acoustiques se glissent partout, dans une cloison de séparation en bois, une étagère en métal et en verre, un bardage de mur extérieur en PVC... Ils sont même capables de s'attaquer aux ondes à basse fréquence, porteuses de sons graves, inaccessibles aux absorbants classiques : les longueurs d'ondes correspondant à ces sons, 350 Hz ou moins, atteignent dans une proportion inverse 1 mètre ou plus, et supposeraient des dispositifs acoustiques d'épaisseurs comparables. « Les métamatériaux sont efficaces même à très petite échelle : 1 cm dans une structure bois ou polystyrène est souvent suffisant », indique Aliyasin El Ayouch. Outre les propriétés acoustiques recherchées, les designs sont étudiés pour garantir les caractéristiques mécaniques des matériaux et mettre l'accent sur leur aspect esthétique. Le marché prioritairement visé est le bâtiment, à travers les collectivités, cantines scolaires, salons industriels, bureaux en *open space*... « Les métamatériaux acoustiques pourraient à l'avenir s'intégrer à l'architecture des villes de nouvelle génération, pour lesquelles lutter contre le bruit sera une priorité. »



Cloison acoustique en panneaux de bois structurés

## BROCHES ET VIS RÉSORBABLES

Si les fils résorbables en fibres de polymère sont depuis longtemps utilisés en chirurgie, les dispositifs employés pour aider les os à se reconstruire en cas de fracture, comme les broches et les vis métalliques, nécessitent toujours d'être implantés puis en général d'être retirés, un protocole imposant deux interventions chirurgicales. Les premiers implants résorbables métalliques commencent cependant à faire leur apparition sur le marché. Le matériau vedette est le magnésium, qui présente l'avantage d'être l'alliage le plus proche de l'os humain en termes de densité et de rigidité, une particularité donnant le meilleur comportement mécanique au couple os-implant. Par ailleurs, le

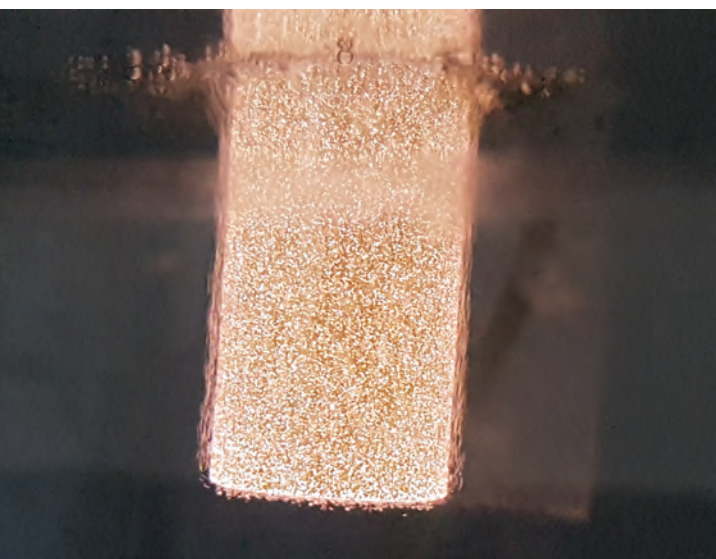
magnésium est éliminé naturellement par l'organisme, mais ce qui apparaît là aussi comme un avantage présente des limites : la dissolution du magnésium, si elle est trop rapide, empêche une bonne reconstruction de l'os. De plus, elle génère des bulles d'hydrogène qui, si elles ne sont pas évacuées rapidement, constituent des poches de gaz responsables d'un retard de guérison, et dans les cas les plus sévères, de nécroses des tissus osseux, voire du blocage de la circulation sanguine lorsqu'elles se trouvent dans les vaisseaux sanguins, laissant craindre le décès du patient.

Pour que le processus de dissolution du magnésium s'opère de manière lente et adaptée au fonctionnement de l'organisme, une équipe de chercheurs<sup>1</sup> menée par Oksana Banakh à la Haute Ecole Arc Ingénierie a mis au point un nouveau procédé électrochimique retardant la corrosion du magnésium.

« Une couche de protection est obtenue par un traitement de surface connu sous le nom de conversion anodique, anodisation électrolytique ou encore éloxage. La surface du métal, ici le magnésium, se convertit progressivement en une couche céramique d'hydroxyde métallique ( $Mg(OH)_2$ ) résistante à

la corrosion et à l'usure. Cependant, à la différence avec le procédé classique, largement utilisé dans l'industrie, l'oxydation du métal est ici assistée par microarcs, qui en apportant une grande énergie à la couche en croissance, en améliore la structure et la résistance à la corrosion », explique Tony Jourdot, collaborateur technique. La couche céramique résiste beaucoup mieux à la corrosion que l'alliage métallique de base, retardant le moment où celui-ci est altéré à son tour : le phénomène de dissolution du magnésium est progressif et contrôlé, la stabilité de l'implant garantit une bonne consolidation de l'os et sa disparition graduelle ne provoque pas d'effets secondaires dans l'organisme.

« Les alliages de magnésium sont très utilisés en chirurgie orthopédique sur le continent asiatique, car ils sont beaucoup moins coûteux que l'acier ou le titane. En Europe, ces implants biodégradables commencent à faire leur apparition sur le marché. Notre procédé pourrait leur apporter une meilleure qualité, et offrir de nouveaux débouchés aux industriels de l'Arc jurassien franco-suisse, qui maîtrisent les techniques électrochimiques de traitement de surface. Cela permettrait de stimuler la compétitivité et la croissance économique de notre région par l'introduction de méthodes innovantes. »



Pièce en cours de traitement PEO (Plasma Electrolytic Oxidation) © HE-Arc

<sup>1</sup> Oksana Banakh et Tony Jourdot, HE Arc Ingénierie, Groupe de compétences Ingénierie de surfaces ; Bruno Schyder et Dario Stefan, Institut technologies du vivant, HES-SO Valais.

## FIBRES VÉGÉTALES ET PERFORMANCES MÉCANIQUES

Le chanvre, le lin, l'ortie, les sarments de vigne sont quelques-uns des végétaux impliqués dans la mise au point de composites biosourcés, dans l'objectif de remplacer un jour les matériaux issus du pétrole. Elle continue à étonner, pourtant l'idée est loin d'être fantaisiste, et s'appuie sur une

connaissance parfois millénaire des propriétés de ces plantes. Si le chanvre, par exemple, connaît un regain d'intérêt depuis 10 ou 15 ans, il a été utilisé de la graine à la tige pendant plusieurs milliers d'années, pour des applications médicinales aussi bien que pour la réalisation de cordages ou de textiles. Très résistant, le chanvre ne nécessite ni pesticides ni irrigation. Les nouvelles variétés développées depuis les années 1950 pour la culture l'ont en outre débarrassé de ses substances psychotropes nocives. La production de chanvre n'atteint cependant qu'une faible part de la production de fibres végétales mondiale, et la filière, malgré les initiatives prises, peine à se faire une place en Europe.

À l'Institut FEMTO-ST, Vincent Placet et son équipe s'intéressent particulièrement aux fibres contenues dans la tige du chanvre pour mettre au point des textiles techniques, qui serviront notamment à la fabrication de renforts mécaniques. « Obtenir ces produits est le résultat de façons de cultiver, de récolter et de transformer le chanvre dont il faut retrouver le savoir-faire en Europe. » Vincent Placet coordonne le projet SSUCHY pour lequel les chercheurs travaillent avec la filature du groupe italien Marzotto, qui, forte de plus de 180 ans d'expérience, est la seule en Europe à savoir tisser les deux fils de base comme requis pour les applications haute performance. Des applications pour des marchés de niche autant que pour des productions de grande consommation, un large spectre que les chercheurs souhaitent valoriser par le choix des démonstrateurs qu'ils mettent actuellement au point : un tableau de bord pour le cockpit d'un avion électrique, évidé à plusieurs endroits pour l'emplacement de cadrans ; un faux-plancher de coffre de voiture à produire à des milliers d'exemplaires ; un châssis de scooter électrique aux performances mécaniques irréprochables ; une enceinte, parce que le chanvre possède aussi d'excellentes propriétés acoustiques.

Selon les utilisations, le chanvre est associé à une résine particulière pour obtenir les caractéristiques voulues : la résistance aux vibrations et au feu pour l'aéronautique, la thermoplasticité pour les accessoires automobiles, et dans la plupart des cas la légèreté, qui, associée à des performances mécaniques éprouvées, fera des biosourcés des matériaux susceptibles de détrôner le carbone. « Tous les développements à base de chanvre n'atteignent aujourd'hui pas le même degré de maturité. Les produits non

tissés pour l'isolation ou les fibres courtes transformées pour les besoins de la plasturgie sont des fabrications peu exigeantes et ont fait l'objet de grandes avancées ; les textiles techniques demandent un traitement plus complexe. Notre but est de faire tendre nos projets vers un haut niveau de maturité, proche de l'industrialisation », explique Vincent Placet. SSUCHY est la première étape d'une démarche tournée vers le développement durable, qui devra encore voir débloquer des leviers technologiques comme le recyclage des matériaux biosourcés, le terme ne signifiant nullement qu'ils sont biodégradables. Affichant l'ambition de participer à la création et au maintien d'une chaîne de valeur du chanvre en Europe, SSUCHY est un projet H2020 concernant 6 pays et regroupant 10 organismes de recherche ou universités, 6 entreprises industrielles et un pôle de compétitivité. Débuté en 2017 pour une durée de 4 ans, il est doté d'un budget global de 7,4 millions d'euros.

## Les matériaux biosourcés, pour remplacer un jour les matériaux issus du pétrole



Feuilles de chanvre  
Photo Kym MacKinnon - Unsplash

## HYDRURES MÉTALLIQUES POUR STOCKAGE D'HYDROGÈNE

Assurer le stockage de l'hydrogène est un défi à remporter pour que ce vecteur d'énergie devienne plus largement exploitable. L'une des solutions consiste à le stocker à l'état solide, sous forme d'hydrures métalliques : les molécules d'hydrogène sont absorbées dans ce composé chimique constitué de fer, de titane et/ou de magnésium, puis restituées à la demande sous forme de gaz, en chauffant le matériau. Cette technologie est déjà utilisée, notamment par la société Mahytec à Dole, spécialiste mondial du stockage de l'hydrogène pour l'alimentation des piles à combustible dans les véhicules ou pour l'habitat. Elle ne continue pas moins à faire l'objet de recherches en sciences des matériaux pour améliorer le procédé. Le développement d'hydrures de haute performance à base de poudres métalliques nanostructurées est l'un des projets que mène Nour-Eddine Fenineche, chercheur à l'ICB, en collaboration avec Omar El Kedim, chercheur à l'Institut FEMTO-ST, tous deux enseignants en génie mécanique et conception à l'UTBM. « Le broyage mécanique et les procédés chimiques sol-gel sont les méthodes que nous utilisons en priorité pour élaborer ces matériaux », précise Nour-Eddine Fenineche. Structurer les poudres de fer, de titane ou de magnésium composant les hydrures à une échelle nanométrique veut répondre à un triple objectif : augmenter la surface d'échange entre ces poudres métalliques et l'hydrogène, ce qui signifie développer la capacité de stockage des hydrures ; accélérer la vitesse d'absorption et de désorption des molécules d'hydrogène dans le matériau pour rendre le procédé réversible encore plus efficace et réactif ; augmenter la durée de vie des hydrures en les « nettoyant » des résidus d'hydrogène qui se déposent à chaque cycle absorption/désorption.

## LE PLOMB ATTIRÉ PAR LES ALGUES

Une solution naturelle pour lutter contre la pollution de l'eau, c'est un pari que souhaitent remporter le chimiste Jérôme Husson et son équipe à l'Institut UTINAM. Là encore, il s'agit d'associer les matériaux pour créer un hybride doté des propriétés voulues : l'alginate, pour sa capacité à attirer les métaux, et la silice, pour sa résistance mécanique. L'alginate est un polymère naturel issu d'algues brunes, ici

du genre *Sargassum*. Sa structure chimique le rend intéressant pour fixer les éléments métalliques et son association avec la silice permet d'obtenir un matériau solide sous forme de poudre, facile à filtrer. « Différents diamètres de particules de poudre sont testés, jusqu'à plusieurs millimètres, pour déterminer quels sont composés les plus efficaces », explique Jérôme Husson. C'est par interactions électrostatiques que les ions métalliques, chargés positivement, sont attirés par la poudre hybride, de charge négative. Si les chercheurs travaillent principalement à extraire le plomb des eaux contaminées, parce qu'il est une source majeure de pollution, des expérimentations sont également menées sur le cuivre, le zinc

ou encore le nickel. « Les résultats sont très satisfaisants pour le plomb, l'une des étapes ensuite sera de réussir à l'extraire lorsqu'il est combiné à d'autres éléments chimiques. » Les expériences sont pour l'instant menées en laboratoire avant de passer à la mise au point d'un module de filtration qui pourrait être installé directement dans un cours d'eau, l'objectif à terme étant d'atteindre un niveau de développement industriel. Les recherches amorcées voilà environ six ans font actuellement l'objet d'une thèse de doctorat en collaboration avec l'université de Djibouti. Les algues sont récoltées le long des côtes de ce pays où elles se trouvent en abondance, avant de faire l'objet de manipulations en laboratoire pour en extraire l'acide alginique dont est dérivé l'alginate. Outre son intérêt pour la mise au point d'un dépolluant efficace et naturel, le procédé est aussi une opportunité pour valoriser ces algues, souvent invasives.



Billes de matériau hybride alginate-silice - Photo Jérôme Husson

## LA MÉMOIRE DES MATÉRIAUX INTERROGÉE

La mémoire des matériaux serait-elle une continuité de la mémoire humaine ? C'est la question que se pose Christian Lexcellent, professeur émérite en mécanique des matériaux de l'ENSMM, dans son ouvrage *Mémoire humaine et mémoire des matériaux*. De longues incursions dans l'histoire de la mémoire humaine, de la Grèce antique jusqu'à nos jours, apportent une foule de témoignages sur la connaissance de cette mémoire, qu'ont nourrie les avancées scientifiques : neurosciences, techniques électrophysiologiques, imagerie médicale, biochimie, pharmacologie de la mémoire...

Les approches psychanalytiques, avec des experts comme Denis Vasse, et philosophiques, notamment sous la plume de Paul Ricœur, se développent en parallèle. Autant de matière à comparaisons avec une autre forme de mémoire, celle des alliages à mémoire de forme (AMF), apparus au cours des années 1950 et domaine de prédilection de l'auteur. Christian Lexcellent établit une relation entre « les défauts cristallins générés dans les AMF pendant leur éducation et les traces mnésiques dans le cerveau, porteuses de la mémoire » pour interroger sur

les liens qui pourraient exister entre deux mémoires de nature différente, « la mémoire humaine et la mémoire au sens physique ou mathématique ». Il ouvre plus largement le débat encore en intégrant à la réflexion des notions de mémoire en vogue actuellement : celle des *memristors*, ou résistances à mémoire, ces composants capables de conserver, après déconnexion, la mémoire du flux des charges électriques qui les ont traversés ; ou celle des arbres, à qui l'on prête des formes de souvenance. Finalement, « Qu'est ce qui n'a pas de mémoire ? »

Lexcellent C., *Mémoire humaine et mémoire des matériaux*, Éditions Cepaduès, 2018

Les recherches s'intègrent au projet euro-méditerranéen HYSTOREENERGY, financé par le consortium des pays d'Europe du sud et du Maghreb et Moyen-Orient (2017-2020), et ont récemment fait l'objet d'un projet régional, ALLIAGES, financé par la Région Franche-Comté (2014-2016). « Outre la mise au point des poudres, nous essayons de gérer la réaction exothermique qui se produit lorsque l'hydrogène s'associe à elles : il est intéressant de récupérer la chaleur réellement importante qui se dégage lors de la phase d'absorption », explique Nour-Eddine Fenineche. Les chercheurs travaillent sur des modèles de gestion thermique incluant un couplage des hydrures avec un échangeur thermique, qui donnerait la possibilité de récupérer la chaleur et de l'exploiter plus tard. « Plusieurs utilisations sont envisagées, en premier lieu le réchauffement de la pile à combustible pour activer la phase de restitution de l'hydrogène sous forme de gaz. On peut aussi imaginer chauffer l'habitacle du véhicule par ce moyen. » Là encore, des matériaux élaborés spécialement seront mis à contribution, cette fois pour le stockage de la chaleur. Dans un projet mené en collaboration avec l'université de Sarajevo depuis un an et aux avancées encore confidentielles, ce sont les matériaux à changement de phase qui sont au cœur des recherches ; à l'état liquide, ces matériaux emmagasinent la chaleur qu'ils restituent à l'état solide.

Spécialiste de la gestion de l'énergie à bord des véhicules, l'équipe SHARPAC de l'Institut FEMTO-ST est mise à contribution dans ces recherches, sous la responsabilité d'Abdesslem Djerdir, directeur adjoint de la Fédération FCLab. Par ailleurs, les plateformes technologiques du Nord Franche-Comté offrent les équipements nécessaires à la fabrication des poudres, qu'elles permettent aussi de tester sur plusieurs cycles d'absorption/désorption. « Notre objectif est de concevoir et de fabriquer un prototype de réservoir à hydrures métalliques pour en équiper un de nos véhicules, et apporter ainsi la preuve de la pertinence de nos travaux. » Autre façon de passer du laboratoire au terrain : les recherches devraient s'intégrer dès l'an prochain au projet HyStock, une installation pilote prévue pour alimenter transports et industries dans le Nord des Pays-Bas.

### Contacts :

#### UTBM

• Département COMM – Conception, optimisation et modélisation en mécanique  
ICB – Institut Carnot de Bourgogne  
Frédéric Demoly / Rémy Lachat  
Tél. +33 (0)3 84 58 39 55 / 35 38  
frederic.demoly@utbm.fr / remy.lachat@utbm.fr

#### Laboratoire Roberval - UTC

Yann Meyer  
Tél. +33 (0)3 84 58 31 52  
yann.meyer@utbm.fr

#### Département PMDM – Procédés métallurgiques,

durabilité, matériaux - ICB  
Nour-Eddine Fenineche  
Tél. +33 (0)3 84 58 31 16  
nour-eddine.fenineche@utbm.fr

#### Haute Ecole Arc Ingénierie

Groupe de compétences Ingénierie des surfaces  
Oksana Banakh  
Tél. +33 (0)41 32 930 25 20  
oksana.banakh@he-arc.ch

#### Université de Franche-Comté

Institut FEMTO-ST - UFC / ENSMM / UTBM / CNRS

#### • Département MN2S – Micro Nano Sciences et Systèmes

Aliyasin El Ayouch  
Tél. +33 (0)3 83 08 24 84  
aliyasin.elayouch@femto-st.fr

#### • Département Mécanique appliquée

Vincent Placet  
Tél. +33 (0)3 81 66 60 55  
vincent.placet@univ-fcomte.fr

#### Institut UTINAM - UFC / CNRS

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



## 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

Directeur de la publication : Jacques Bahi | Rédaction : Catherine Tondou  
Composition : Gaëlle Ruf | Conception graphique :  
Gwladys Darlot | Impression : L'imprimeur Simon, Ornans / Imprim'vert.

#### **en direct est édité par : Université de Franche-Comté<sup>1/2</sup>**

1, rue Claude Goudimel | 25030 Besançon cedex

Président : Jacques Bahi | Tél. +33 (0)3 81 66 50 03

#### **en association avec : Université de technologie de Belfort-Montbéliard<sup>1/2</sup>**

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

#### **École nationale supérieure de mécanique et des microtechniques<sup>1/2</sup>**

Chemin de l'Épitaphe | 25030 Besançon cedex

Directeur : Pascal Vairac | Tél. +33 (0)3 81 40 27 00

#### **Université de Neuchâtel<sup>1</sup> | Avenue du 1<sup>er</sup> mars 26 | CH - 2000 Neuchâtel**

Recteur : Kilian Stoffel | Tél. +41 (0)32 718 10 20

#### **Haute Ecole Arc<sup>1</sup> | 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 : Pascal Morel | Tél. +33 (0)3 81 61 56 15

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

Avec le soutien du Conseil régional de 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](http://endirect.univ-fcomte.fr)