

en-direct

TRAIT D'UNION ENTRE RECHERCHE ET SOCIÉTÉ

NUMÉRO 326

SEPTEMBRE - OCTOBRE 2026

Magazine scientifique collaboratif
Édité dans l'Arc jurassien

GRAND FORMAT [TRANSITION ÉNERGÉTIQUE]

Place à l'hydrogène !

ÉNERGIE SOLAIRE

Pour un meilleur
rendement des panneaux
photovoltaïques

AGROÉCOLOGIE

Réconcilier l'arbre,
le champ et le pâturage

URBANISME

Le skate de la débrouille

PUBLICATION

Laïcité : remettre l'église
au centre du village



en-direct

NUMÉRO 326 SEPTEMBRE - OCTOBRE 2026

Un trait d'union franco-suisse,
entre établissements d'enseignement
supérieur et centres de recherche,
en lien avec l'entreprise et la société.

3 | ACTUALITÉS

- Le plus petit des PFAS quantifié dans l'eau de consommation
- Pour un meilleur rendement des panneaux photovoltaïques
- Bunkers militaires aux multiples destins
- Réconcilier l'arbre, le champ et le pâturage
- Contacter l'IA, un geste de premier secours pour repousser les souffrances suicidaires
- La réalité virtuelle passe aux urgences
- Le skate de la débrouille
- Laïcité : remettre l'église au centre du village

12 | PAGE [D'HISTOIRE]

Suivre la course de l'Observatoire de Neuchâtel

14 | ANALYSE [DE TEXTES]

Imaginaires forestiers

16 | GRAND FORMAT [TRANSITION ÉCOLOGIQUE]

Place à l'hydrogène !



ANALYSES CHIMIQUES

LE PLUS PETIT DES PFAS QUANTIFIÉ
DANS L'EAU DE CONSOMMATION

On les trouve dans les cosmétiques, les pesticides, les climatisations, au fond des poêles antiadhésives, dans les boîtes à pizza, sur les vêtements imperméables, le fart des skis, les fils électriques... Très utiles à l'industrie depuis les années 1950 pour le développement de nombreux produits

jugées préoccupantes, font l'objet d'un suivi régulier dans l'eau du robinet.

Avec une loi qui prendra effet au 1^{er} janvier 2027, le TFA, ou acide trifluoroacétique, le plus petit des PFAS, fera aussi son entrée dans la liste des suspects à surveiller. Une initiative bienvenue pour Grégorio Crini,

et surtout à traiter.

Nadia Crini, Grégorio Crini et leurs doctorants à Chrono-environnement effectuent depuis plusieurs années des analyses sur l'eau, en vue de développer des traitements naturels pour éliminer les substances indésirables, tels que les perturbateurs endocriniens,

qu'elle est susceptible de contenir. Concernant l'eau distribuée à Besançon et les PFAS, leurs conclusions scientifiques de ces dernières années vont dans le même sens que les résultats d'études produits par l'Agence de l'eau en 2023, estimant que la source d'Arcier est particulièrement impactée par les PFAS, l'Agence régionale de santé et Grand Besançon



Photo Grégorio Crini

de consommation courante, les PFAS¹ ont malheureusement aussi contaminé l'air, les sols, les rivières, les mers, l'eau de pluie, la chaîne alimentaire. On sait aujourd'hui la toxicité de certaines de ces molécules chimiques, qui font grand bruit dans les médias comme « polluants éternels ». Mais on ne connaît pas toutes les substances de cette immense famille, qui compte au moins 17 000 molécules, et encore moins leurs affinités et comportements, susceptibles de créer d'improbables « effets cocktail ». En France depuis janvier 2026, vingt molécules, dont quatre

chimiste à l'UMLP/laboratoire Chrono-environnement : « On dit des PFAS qu'ils sont des polluants éternels. Certaines de ces molécules sont en effet très stables chimiquement. Mais d'autres, comme certains herbicides, médicaments et fluides frigorigènes, se dégradent dans l'environnement sous forme de TFA ». Ce qui n'est pas une bonne nouvelle car cette molécule, qui vient d'être considérée comme toxique pour la reproduction par l'Agence européenne des produits chimiques, est la plus mobile de toutes les substances PFAS, elle est donc plus difficile à détecter

Métropole en 2025 sur l'eau de la ville, ainsi que par l'Anses² fin 2025 au niveau national. Leurs travaux les plus récents viennent d'être publiés dans des revues de référence à l'international, l'une éditée par l'American Chemical Society, l'autre par Springer Nature. Ils portent sur la recherche des vingt PFAS jugés les plus préoccupants et épinglés par la loi, et plus encore : soixante-cinq substances de cette famille au total ont fait l'objet d'une détection selon les méthodes fines mises au point à Chrono-environnement, en collaboration avec un laboratoire accrédité de

Poitiers. Les analyses concernent d'une part des eaux en bouteille provenant de onze pays, de l'autre l'eau du robinet à Besançon et dans onze villes de la région. Les dizaines de bouteilles de l'échantillon, représentant quinze marques différentes, ne révèlent la présence que d'un seul composé PFAS sur soixante-cinq : le TFA. « 100 % des bouteilles d'eau analysées contiennent des molécules TFA, avec un taux variant de 50 à 1300 ng par litre, soit une moyenne de 461 ng/L. Les bouteilles en verre en contiennent moins que les bouteilles en plastique, ce qui suggère que les plastiques pourraient poser problème, bien qu'ils ne comportent aucune des vingt molécules visées par la loi »,

explique Grégorio Crini. Concernant l'eau du robinet, contrairement aux eaux embouteillées, les échantillons³ ont révélé la présence de douze des soixante-cinq molécules visées ; huit d'entre elles font partie de la « liste des vingt ». « Cependant, les valeurs cumulées de ces huit molécules sont inférieures à la limite de 100 ng/L qu'impose la loi pour la somme des vingt substances réglementées. » Mais le TFA, lui, est présent dans 100 % des échantillons, à une concentration variant de 440 à 3800 ng/L. Des valeurs quatre fois supérieures à celles de l'eau en bouteille, et quatre à trente-huit fois plus élevées que la norme réglementaire globalement appliquée aux PFAS⁴.

La surveillance active de la présence de TFA dans l'eau, notamment celle du robinet, est confirmée comme une priorité pour les chercheurs ayant collaboré à cette étude.

¹ Composés per- et polyfluoroalkylés.

² Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

³ 74 échantillons prélevés dans 28 foyers bisontins.

⁴ La valeur limite de qualité pour le TFA était attendue pour cette fin d'été.

Contact :
Laboratoire Chrono-environnement
UMLP/ CNRS
Grégorio Crini
Tel : +33 (0)3 81 66 57 01
gregorio.crimi@umlp.fr

ÉNERGIE SOLAIRE

POUR UN MEILLEUR RENDEMENT DES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES



33 %, c'est la limite théorique du rendement d'une cellule photovoltaïque au silicium à simple jonction. Une barrière qu'atteignent presque les dispositifs vendus sur le marché, avec des rendements industriels

généralement compris entre 23 à 25 %, les meilleures cellules approchant aujourd'hui 27 %. Des chercheurs de l'Institut FEMTO-ST et des industriels ambitionnent de franchir cette limite dite de Shockley-Queisser,

grâce à une approche innovante développée dans le cadre du projet européen LEEMONS¹. Leur objectif est de réduire les pertes d'énergie occasionnées dans les systèmes : lorsqu'un photon, particule de lumière émise par le soleil, est piégé dans une cellule photovoltaïque, il arrache un électron à sa matrice en silicium, un processus à l'origine de la création d'électricité. Mais une grande partie de l'énergie excédentaire apportée par le photon est rapidement dissipée sous forme de chaleur dans le matériau, un phénomène appelé thermalisation.

Pour casser cet effet, les membres du consortium envisagent de répartir cette énergie entre plusieurs électrons qui, porteurs d'une énergie plus faible, entraîneront moins de pertes de thermalisation et seront

électriquement plus performants. Transformer un électron de haute énergie en plusieurs électrons de basse énergie est un phénomène baptisé LEEM (*Low-Energy Electron Multiplication*).

Les membres du projet entendent démontrer qu'il peut se produire au cœur des cellules solaires : la multiplication des électrons sera rendue possible par une structuration du silicium, réalisée à l'échelle du nanomètre.

Une opération confiée à Samuel Queste, docteur en sciences des matériaux à l'Institut FEMTO-ST.

Responsable des techniques de gravure au plasma, le spécialiste met en œuvre les moyens de la plateforme MIMENTO pour parvenir à l'objectif fixé.

« Il s'agit de créer des masques dans lesquels l'aménagement de très fins espaces permet de former la couche voulue à la surface des cellules photovoltaïques. »

Les masques sont réalisés sur des *wafers* 6 pouces, des galettes de silicium d'environ 150 mm de diamètre. D'épaisseurs comprises entre 200 et 380 µm, ces *wafers* très fragiles sont

structurés de façon discontinue par des espaces de 10 µm, une dimension dix fois inférieure au diamètre d'un cheveu !

Le design de ces espaces peut être linéaire ou circulaire : des tests sont actuellement réalisés pour déterminer quelle géométrie est la plus favorable à la multiplication électronique.

DÉPASSER LA LIMITE CONVENTIONNELLE

Grâce aux compétences de ses équipes et à ses installations technologiques, l'Institut FEMTO-ST est réputé produire les gravures les plus profondes qu'il soit possible de réaliser dans du silicium sur une plateforme technologique en France.

À d'aussi faibles dimensions, chaque gain de performance est un exploit. Pour ce projet, la proportion entre la largeur et la profondeur de la gravure a pu être améliorée : le facteur de forme est passé à 38, alors que la valeur de 30 atteinte jusqu'alors semblait une limite difficile à surmonter. Pour valider leur hypothèse, les membres du consortium ont

pour objectif d'augmenter de 1 % le rendement d'une cellule solaire grâce à la multiplication électronique. À plus long terme, cette approche pourrait ouvrir la voie à des cellules dépassant la limite conventionnelle de Shockley-Queisser.

« Et le projet est pensé de façon à ce que l'intégration de ces cellules silicium dans les futurs panneaux solaires ne nécessite que des adaptations limitées des procédés industriels existants, un point très stratégique pour l'industrie », explique Samuel Queste. Une vision encore plus pertinente lorsque l'on sait que Roltec, partenaire polonais du projet, est l'un des seuls producteurs de cellules photovoltaïques en Europe.

¹ LEEMONS (2024-2027) est un projet de 2,7 millions d'euros financé par l'Union européenne. Les partenaires sont le CEA-Leti, ISC Konstanz, le CSEM, l'UMLP, et les entreprises Roltec et SEGTON.

Contact :
Institut FEMTO-ST/ MN2S
UMLP/ SUPMICROTECH/ UTBM/ CNRS
Samuel Queste
Tel : +33 (0)3 81 66 66 47
samuel.queste@femto-st.fr

CHANGEMENT D'AFFECTATION

BUNKERS MILITAIRES AUX MULTIPLES DESTINS

Bunkers déguisés en faux chalets, postes d'artillerie camouflés sous la végétation, kilomètres de galeries serpentant sous les montagnes et comprenant jusqu'à des usines d'armement et des hôpitaux souterrains, les fortifications militaires bâties pour les besoins de la défense et de la sécurité en Suisse, essentiellement au cours de la Seconde Guerre mondiale et de la guerre froide, représentent



un réseau d'une densité impressionnante. Aucun registre officiel n'en dresse un inventaire précis, mais une réforme majeure de l'armée suisse en 1995 permet d'approcher sa réalité : 13 000 ouvrages militaires ont dès lors fait l'objet d'un déclassement, dont 8 000 sont des bunkers souterrains, pour moitié vendus depuis cette époque à des acteurs publics ou privés. Le démantèlement d'une partie de la « forteresse alpine » pose la question de la réhabilitation de ces bunkers sous des formes nouvelles, et du devenir de la dimension symbolique qui a accompagné à la fois leur édification et la construction de l'identité suisse.

qu'il faut rendre accessibles à la population, d'autres voient leur vocation sécuritaire perpétuée

Le chercheur et son équipe envisagent de considérer la problématique sous ces



Fort d'infanterie de Altkirch - Andermatt - Suisse. Vestiges d'un ancien bunker d'infanterie près de la caserne, en direction des gorges de Schöllenen. Photo Kecko, Flickr

DE CAVES À CHAMPIGNONS EN BOÎTES DE NUIT

Ces réflexions sont au cœur d'un projet piloté par Francisco Klauser, professeur de géographie politique à l'université de Neuchâtel, et qui vient d'obtenir un financement du Fonds national suisse (FNS) pour quatre ans.

« La mise en œuvre du projet intervient alors que l'armée suisse a décidé de stopper la vente de ces ouvrages militaires, voire envisage de réarmer certains d'entre eux. Ces prises de position sont motivées par la menace que fait à nouveau émerger la guerre en Ukraine sur le sol européen », précise Francisco Klauser.

La réaffectation des anciens bunkers prend des formes très disparates. Si certains sont conservés à titre historique ou patrimonial, considérés comme des « espaces de mémoire »

de nouvelles manières, par exemple à travers la création de *data centers* ou d'espaces de stockage pour des archives. D'autres encore, grâce au microclimat souterrain ambiant, sont reconvertis en caves à fromages ou à champignons, ou en refuges écologiques pour les chauves-souris. Le côté sombre des bunkers est également exploité pour créer des hôtels insolites, des *escape games* aux scénarios militaires ou des boîtes de nuit.

Francisco Klauser pointe les limites posées à ces réhabilitations. Elles peuvent être de nature juridique, notamment parce que les bunkers ne sont en général pas situés dans des zones à bâtir, ou d'ordre fonctionnel, en raison des difficultés propres à la vie souterraine : « L'aération, la déshumidification, l'électrification de locaux à visée d'hébergement, par exemple, représentent de véritables défis et des coûts d'entretien importants. »

différents angles, comprenant la redéfinition concrète du rôle des bunkers militaires aujourd'hui, la signification symbolique et identitaire que ce changement représente pour la population actuelle, la question du secret aussi : « La forteresse alpine s'est construite en toute discrétion. Elle comporte plusieurs anneaux de sécurité, que des générations de réservistes de l'armée suisse ont participé à édifier », explique le professeur de géographie. « Mais si beaucoup en avaient l'expérience pratique, personne n'en a eu de vision globale. Ce projet pourra aussi contribuer à forger une image plus complète et plus solide de ce qu'était l'organisation de la défense militaire en Suisse dans la deuxième moitié du XX^e siècle. »

Contact :
Institut de géographie
Université de Neuchâtel
Francisco Klauser
Tél. +41 (0)32 718 16 79
francisco.klauser@unine.ch

AGROÉCOLOGIE

RÉCONCILIER L'ARBRE, LE CHAMP ET LE PÂTURAGE

L'arbre est-il l'allié de l'agriculture ? Couper les forêts pour gagner en terres cultivables a de tout temps été une option prise par l'homme. L'effacement de l'arbre des terrains agricoles s'est intensifié durant le XX^e siècle, motivé par l'explosion démographique et le progrès technologique. Il est de plus en plus questionné, en raison notamment de la nouvelle donne que représente le bouleversement climatique. L'agroforesterie, qui entend réconcilier les mondes forestier et agricole, est l'une des réponses aujourd'hui proposées pour s'adapter au changement. Si cette idée s'oppose à une conception productiviste de l'agriculture, elle ne remet en cause ni son développement moderne, ni la mécanisation. Mais elle suggère de considérer les pratiques d'une autre manière : arbres et agriculture, trop longtemps séparés, doivent être à nouveau réunis... pour le meilleur.

Certes, le remariage impose des concessions, qui peuvent faire craindre à l'agriculture de perdre du terrain. Mais devant les bénéfices attendus, une vision à long terme se montre rassurante pour la solidité du couple. Céder quelques ares de terre signifie gagner des arbres, des haies et des arbustes capables d'abriter le bétail du soleil, de stabiliser les terrains, de limiter l'érosion et de retenir l'eau de pluie, de produire des fruits, de générer de la matière organique qui viendra nourrir les sols...

« L'idée est de sortir de la spécialisation extrême, de recréer des écosystèmes en jouant sur la variété des essences forestières ou fruitières, des espèces céréalières et des autres végétaux », indique

Jérémie Forney, enseignant-chercheur en anthropologie de l'environnement à l'université de Neuchâtel.

Noyers, noisetiers, charmes, blé, orge, lin, herbages..., il s'agit de trouver des synergies adaptées aux terrains, tout en pratiquant de manière classique la rotation des cultures. « L'agroforesterie ne nécessite pas de reconversion radicale, pas plus qu'elle n'exige de renoncer à ses équipements. Sur le plateau d'Ajoie par exemple, un agriculteur a planté des arbres selon un espacement qui correspond à un multiple de la largeur de ses machines. »

L'arbre, allié de l'agriculture ? La réponse est « oui » pour ceux qui se lancent dans l'expérimentation en Suisse, en France, en

nue à être défendus. Ils ont fait les preuves de leurs avantages et comptent au nombre des sources d'inspiration de l'agroforesterie. Leurs paysages typiques ont servi de toile de fond au congrès de la Fédération européenne d'agroforesterie qui s'est tenue à l'UniNE en juin dernier. L'événement a réuni pas moins de 400 participants autour de recherches, d'expériences et de retours de terrain. *L'alma mater* a été choisie pour recevoir cette 8^e édition européenne par le biais de son centre de compétences sur l'agroécologie, le CEDD-Agro-Eco-Clim, codirigé par Jérémie Forney. « L'ambition du centre est de proposer une recherche sur l'agriculture favorisant le dialogue avec le monde agricole et la société, dans une



Italie, en Grande-Bretagne ou dans certains pays d'Europe de l'Est, selon des démarches souvent soutenues par les politiques publiques. Dans l'Arc jurassien franco-suisse, les prés-bois, ou pâturages boisés, des espaces mixtes qui voient cohabiter les forêts et les pâtures, sont une tradition de longue date et conti-

approche agroécologique. L'agroforesterie est une déclinaison de cette vision générale. »

Contact :
Institut d'ethnologie
Université de Neuchâtel
Jérémie Forney
Tél. +41 (0)32 718 17 10
jeremie.forney@unine.ch

SOLUTIONS NUMÉRIQUES POUR LA SANTÉ

CONTACTER L'IA, UN GESTE DE PREMIER SECOURS POUR REPOUSSER LES SOUFFRANCES SUICIDAIRES

Développer un agent conversationnel, un *chatbot*, pour prévenir les souffrances suicidaires, tel est l'objectif du projet HOPES¹ qui s'est terminé en juin à la HE-Arc. Problème majeur de santé publique, les souffrances suicidaires sont responsables de la mort de 700 000 personnes chaque année dans le monde, et l'OMS estime qu'ils représentent la quatrième cause de décès chez les jeunes de 15 à 29 ans. C'est justement parce que ce public est très concerné par les nouvelles technologies, et parce qu'il lui est difficile, compte tenu de sa détresse, de s'adresser directement à un professionnel, que l'idée de HOPES s'est imposée.

en sciences infirmières à la HE-Arc Santé, et instigateur principal du projet.

DEVENIR
UNE RÉFÉRENCE
DANS LE DOMAINE
DES IA GÉNÉRATIVES

Constituée autour des compétences des domaines Santé et Ingénierie de l'école, l'équipe de recherche s'est appuyée sur l'analyse de données récoltées sur le terrain, pour proposer une solution qui s'ajuste aux besoins de la population. Pour les personnes concernées et leurs proches, se repérer et trouver des réponses s'avèrent ardu

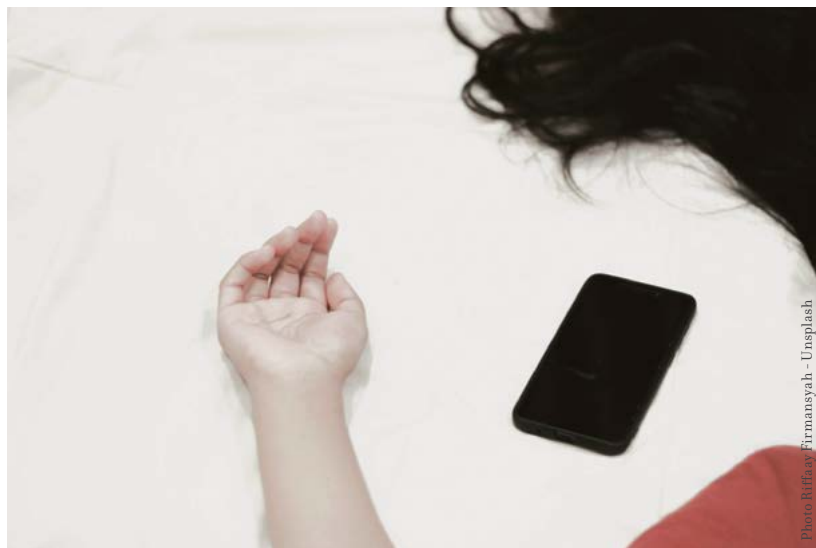
suffisamment performant :

« Les outils généraux renvoient vers des structures universitaires comme le CHUV, parfois géographiquement éloignées, et ne réorientent pas vers les urgences psychiatriques et autres structures compétentes de proximité. »

Le *chatbot* romand a pour ambition, à terme, de devenir une référence sur laquelle les grands modèles de langage s'appuieraient, afin que l'interrogation des IA génératives stars puisse être redirigée vers l'application spécialisée.

Dans l'immédiat, le prototype réalisé devrait prochainement être décliné, gratuitement, en deux propositions : une application mobile et une version web.

« HOPES demande à être poursuivi, pour que l'outil puisse être adapté à différents contextes géographiques et culturels, et disponible dans plusieurs langues. Le souhait est de proposer un service efficace et très abouti », précise Baptiste Lucien. Financé par la HES-SO², le projet s'est conclu fin juin après deux ans de travail. Les membres de l'équipe espèrent obtenir prochainement de nouveaux financements pour le relayer, et ainsi donner toute la latitude voulue à leur agent conversationnel.



« Il n'est pas question de remplacer l'humain, mais dans un premier temps d'accompagner la personne, de lui fournir des informations probantes et de l'orienter vers les services de santé les plus adéquats, par le biais du dialogue avec la machine », indique Baptiste Lucien, doctorant

dans un système de santé de plus en plus complexe, d'autant plus lorsque le malaise et les difficultés absorbent toute énergie. Pour s'informer sur les moyens d'accompagnement, le recours à des grands modèles de langage tels que ChatGPT, si évident dans la démarche pour le jeune public, n'est pas

¹ *Healthcare application for orientation, prevention and evaluation of individuals at risk of suicide suffering.*

² *Haute école spécialisée de Suisse occidentale, dont fait partie la HE-Arc.*

Contact :
Haute Ecole Arc Santé
Baptiste Lucien
Tél. +41 (0)32 930 12 74
baptiste.lucien@he-arc.ch

ENSEIGNEMENT INNOVANT

LA RÉALITÉ VIRTUELLE PASSE AUX URGENCES

Brûlure, fracture ouverte, obstruction des voies aériennes, hémorragie..., la liste est longue des traumatismes graves pris en charge aux urgences d'un hôpital. Savoir faire face à ces situations signifie acquérir un grand nombre de connaissances et principes théoriques, des enseignements inscrits spécifiquement au programme de la sixième année d'études de médecine. Pour faciliter l'apprentissage des étudiants, une équipe d'urgentistes et de chercheurs a imaginé faire appel à la réalité virtuelle pour créer des exercices pratiques simulant un accueil dans un service d'urgence. L'idée s'est depuis concrétisée dans un projet européen¹, autour de cinq scénarios construits pour donner lieu à la création d'un logiciel de réalité virtuelle. Chargée de l'évaluation des scénarios et de l'expérience de réalité virtuelle elle-même, l'équipe de Besançon, pilotée par Abdo Khoury, professeur de médecine d'urgence à l'UMLP et praticien au CHU, est composée de Marc Smounya, infirmier aux urgences du CHU, de Justin Outrey, urgentiste, et de Jean-Baptiste Pretalli, chercheur, qui précise : « Il s'agit de mesurer si la mise en situation est suffisamment immersive, le dispositif physiquement bien toléré par les participants, et la méthode satisfaisante pour l'apprentissage ». Arrivée du patient en hélicoptère ou en ambulance, présence de l'équipe médicale, stress amplifié par les signaux lumineux et les bips sonores, les scènes proposées paraissent aussi vraies que nature. Elles fournissent les conditions d'un exercice réaliste

et sans risque, dans lequel les étudiants s'exercent à la prise de décision concernant les gestes de secours à effectuer et les soins à administrer. « La réalité virtuelle est particulièrement bien adaptée à la problématique de l'accueil en

Une fois les scénarios réalisés, la réalité virtuelle s'avère en effet une solution peu coûteuse pour l'apprentissage des étudiants en médecine. « Elle pourrait avantageusement compléter les méthodes traditionnelles



Un urgentiste examine un patient dans la salle d'accueil virtuelle des urgences vitales.

Photo Jean-Baptiste Pretalli

urgence de patients présentant de sévères traumatismes, et devrait aider les étudiants à mieux acquérir les connaissances théoriques demandées. »

DES PREMIERS TESTS ENCOURAGEANTS

Jean-Baptiste Pretalli en a reçu des preuves encourageantes grâce aux premiers tests effectués auprès des principaux intéressés. Une nouvelle étape d'évaluation s'ouvre actuellement, avec le recrutement de quatre-vingt étudiants dans chacune des universités partenaires du projet. « L'objectif, à terme, est de mettre les cinq scénarios gratuitement à disposition de l'ensemble des universités européennes. »

actuelles, qui nécessitent des moyens humains et logistiques importants. »

Pour affiner encore leurs résultats, les membres de l'équipe envisagent de comparer les apports respectifs de ces différentes approches. Un volet additionnel au projet européen, dont la clôture est prévue en octobre prochain au terme de deux années de recherche.

¹ Piloté par l'université de Vilnius en Lituanie, le projet reçoit la collaboration de l'université de Warmie et Mazurie à Olsztyn, en Pologne, le Centre de simulation MedSim de l'UMLP et le Centre d'investigation clinique (CIC) du CHU de Besançon Franche-Comté.

Contact :
Centre d'investigation clinique – CIC
CHU de Besançon Franche-Comté
Jean-Baptiste Pretalli
jbpretalli@chu-besancon.fr

URBANISME

LE SKATE DE LA DÉBROUILLE



Le skatepark de La Chaux-de-Fonds - Photo Braini

Obtenir des autorisations et des financements pour lancer un projet, c'est parfois le parcours du combattant. Placés devant cette réalité ordinaire et motivés par leur envie de pratiquer leur sport sans attendre, les adeptes du skate-board ont développé un sens de la débrouillardise qui les conduit à concrétiser par eux-mêmes leurs idées. Ce vent de liberté venu des États-Unis souffle sur les *riders* européens depuis les années 2000, notamment en Suisse où nombre de *skateparks* ont été construits à la force de leur poignet.

Si certaines installations sont parfois sauvages, elles sont le plus souvent réalisées en accord avec les municipalités : en échange d'un lieu où installer leurs rampes, les skateurs se chargent de la construction, selon un esprit *Do it yourself* (DIY) désormais inscrit dans l'ADN de leur pratique. « Fais-le toi-même », la proposition n'exclue pas de « faire avec », bien au contraire. Dans la ville du Locle, la construction d'un *skatepark* extérieur a déjà impliqué deux cents volontaires au fil du temps. Jérôme Heim fait partie du noyau dur d'une quinzaine de permanents qui chapeautent ce

projet en constante évolution depuis onze ans. Enseignant-chercheur en socio-anthropologie à la Haute école de gestion Arc, il souligne : « Ce type de projet comporte une dimension évolutive, qui donne la possibilité à de nouvelles personnes de s'impliquer et d'apporter leurs idées. Au Locle, l'idée du *skatepark* a pris une nouvelle dimension avec des aménagements, des décorations et des plantations, qui en font un vrai lieu de vie urbain ».

PROJETS POUR LA VILLE

D'initiatives individuelles en montage d'associations, comment de tels projets sont-ils conduits, et quel est l'impact de l'expérience sur le bien-être et l'intégration des jeunes dans leur ville ? C'est là l'angle choisi par Jérôme Heim dans une recherche financée par le Fonds national suisse (FNS), qui prend le contrepied des études classiques, le plus souvent fondées sur les notions de nuisances et de risques. Il ne s'agit pas d'ignorer ces paramètres, mais de regarder au-delà comment les liens peuvent se construire et les expériences

se montrer enrichissantes. « Les jeunes acquièrent des compétences techniques et organisationnelles, apprennent à s'adresser aux autorités locales, qui en retour cherchent à comprendre leurs aspirations. Les liens sociaux se tissent autour d'une histoire partagée, qui se traduit par des échanges et la participation de chacun. Cette démarche citoyenne représente aussi de la fierté pour les jeunes, parce que les installations sont partagées avec d'autres personnes, et surtout parce que les autorités locales reconnaissent leur engagement et leur travail. »

Différents modèles de développement président à la construction de *skateparks* DIY. En abordant les projets de différentes villes en Suisse, Le Locle, La Chaux-de-Fonds, Bevaix, Moutier, Fribourg et Bienne, la recherche donnera une vision d'ensemble de leur fonctionnement et de leur gouvernance. Les enseignements tirés de cette étude pourront avantageusement être utilisés pour le déploiement d'autres dispositifs urbains impliquant des jeunes et des enfants. Ce projet conclu pour quatre ans (2024-2028) est mené en partenariat par la Haute école de gestion Arc et la Haute école de travail social Fribourg (HES-SO), avec différentes associations de *skateboard*. Il est partie prenante de l'exposition *Skate of mind*, à découvrir jusqu'au 7 mars 2027 au musée d'ethnographie de Neuchâtel. Un événement animé par des ateliers pratiques, des sessions scientifiques... et des séances de skate !

Contact :
Institut du management des villes et du territoire – IMVT
Haute école de gestion Arc
Jérôme Heim
Tél. +41 (0)32 930 20 67
jerome.heim@he-arc.ch

PUBLICATION

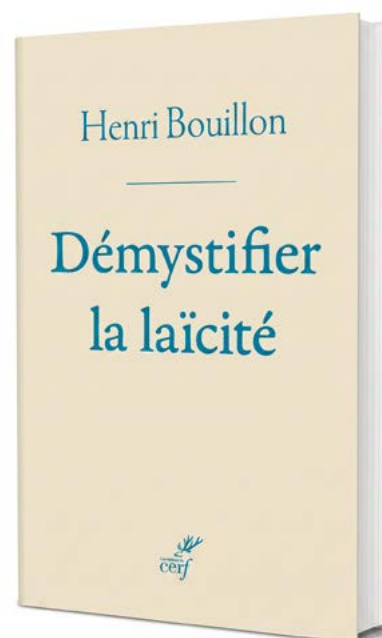
LAÏCITÉ : REMETTRE L'ÉGLISE AU CENTRE DU VILLAGE

Au cœur de nombreux débats en France, la laïcité est invoquée pour résoudre des conflits ou des questionnements d'ordre religieux sur la place publique, souvent de manière inappropriée. Car la laïcité est une notion juridique, dont les principes simples sont énoncés dans le droit. La laïcité régit les rapports entre les Églises et l'État, à qui elle impose la neutralité religieuse : aucune religion ne doit obtenir la reconnaissance de l'État, pas plus que souffrir de son désaveu. Ce principe pose les bases de la liberté religieuse : les pouvoirs publics ne peuvent ni imposer de croyance, ni témoigner d'une quelconque discrimination envers des citoyens pour des raisons de religion. Mais au-delà du droit, la notion de laïcité se teinte de considérations politiques, philosophiques, sociologiques et historiques. Ce camaïeu d'influences explique que le terme soit imprécis, voire galvaudé, au point parfois de devenir un étendard brandi pour régler des questions qui devraient en réalité lui rester étrangères. Dans son ouvrage *Démystifier la laïcité*, le juriste Henri Bouillon¹ reprend les fondements du droit qui rationalisent la laïcité et délimitent son périmètre de compétence. Une mise au point nécessaire pour lui rendre sa clarté, gage de son utilité juridique, et la protéger de toute instrumentalisation. L'auteur rappelle ainsi que la notion de laïcité n'a pas vocation à intervenir dans l'organisation de la société française, et que le règlement de certaines questions ou polémiques relève le plus souvent d'autres principes de droit, comme la liberté religieuse ou le respect de l'ordre public. Utilisée à mauvais escient, « la laïcité devient une arme de conflit,

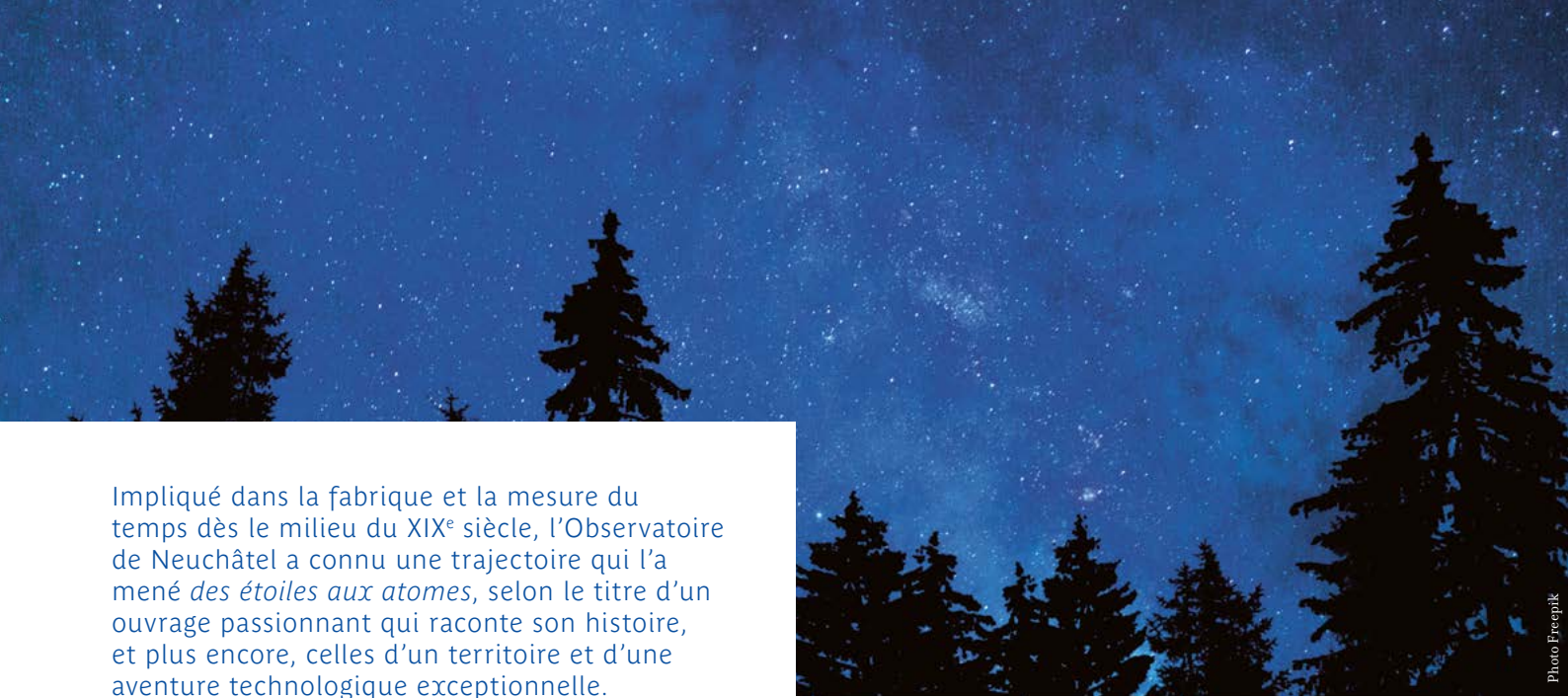
alors qu'elle devrait pacifier les relations publiques. » Henri Bouillon relève cependant que les principes décrits par le droit doivent se confronter à la réalité sur le terrain, ainsi qu'aux idéologies, illustrées par deux grandes doctrines opposées. Le laïcisme considère que le religieux est un facteur de division sociale, et qu'il doit pour cette raison se cantonner à la sphère privée. La laïcité ouverte prône la libre expression publique de toutes les croyances, arguant qu'elles font partie intégrante de l'identité d'une personne. « Il est important d'étudier juridiquement la laïcité pour pouvoir dépasser cet antagonisme. » Henri Bouillon opère des rappels historiques et fait référence à des sujets d'actualité pour donner des clés de compréhension d'une notion décidément très controversée. Il est ainsi et entre autres question de la loi de séparation de l'Église et de l'État de 1905, qui n'est pas à confondre avec la laïcité, de la non reconnaissance des religions par les pouvoirs publics, qui n'empêche pas leur connaissance et l'existence de liens, du respect de la neutralité de l'État dans les services publics et chez leurs agents... De l'installation d'une crèche de Noël dans une mairie au port du burkini dans une piscine, du débat sur le port de la soutane dans la rue au début du XX^e siècle à celui du foulard lors de sorties scolaires de nos jours, l'ouvrage fournit des exemples parlants pour mieux cerner toute la complexité associée à la notion de laïcité.

¹ Henri Bouillon est enseignant-chercheur en droit public à l'UMLP/ Centre de recherches juridiques de Franche-Comté (CRJFC).

L'auteur rappelle que la notion de laïcité n'a pas vocation à intervenir dans l'organisation de la société française



Bouillon H., *Démystifier la laïcité*, Les éditions du cerf, 2026.



Impliqué dans la fabrication et la mesure du temps dès le milieu du XIX^e siècle, l'Observatoire de Neuchâtel a connu une trajectoire qui l'a mené *des étoiles aux atomes*, selon le titre d'un ouvrage passionnant qui raconte son histoire, et plus encore, celles d'un territoire et d'une aventure technologique exceptionnelle.

PAGE [D'HISTOIRE]

SUIVRE LA COURSE DE L'OBSERVATOIRE DE NEUCHÂTEL

Les observatoires
ont accompagné
des développements
technologiques
impliqués dans
l'histoire des sociétés
depuis la première
révolution industrielle

En 1967, l'observation des étoiles laisse place à la physique quantique et à la transition de l'atome de césium pour déterminer le temps. Les observatoires ont accompagné ces développements technologiques si fortement impliqués dans l'histoire des sociétés depuis la première révolution industrielle. Créé en 1858 pour répondre aux besoins de l'industrie horlogère, l'Observatoire de Neuchâtel en est un illustre exemple, qui rapidement s'impose comme l'un des plus importants en Suisse et dans le monde. Il lui faut pourtant attendre l'essor de la publicité horlogère, notamment autour des concours de chronométrie au XX^e siècle, ainsi que la diffusion du signal horaire à la radio et par l'horloge parlante, pour être mieux connu. Après sa fermeture en 2007, l'étude des instruments historiques, l'exploitation des archives et l'analyse des

pratiques ayant guidé ses travaux scientifiques et techniques ont renouvelé la connaissance de cette institution au fonctionnement atypique, entre prestations de service pour le domaine privé et recherche publique.

Ce travail de recherche a donné lieu à la mise en place, en juin dernier, d'une exposition déclinée sur plusieurs sites au Locle, à La Chaux-de-Fonds et à Neuchâtel, pour certains actuellement toujours ouverts aux visites¹.

Un livre richement illustré en prend le relais : *Des étoiles aux atomes*, d'après l'exposition éponyme, regroupe des contributions émanant de différentes disciplines scientifiques, de l'astronomie à la chronométrie, de la géodésie à l'électronique.

« Cet ouvrage n'a pas pour ambition de délivrer une histoire complète de l'Observatoire cantonal de Neuchâtel, tâche qui pourrait justifier l'existence de plusieurs ouvrages tant les thèmes et les angles d'analyse possibles sont vastes. Il vise plutôt à éclairer les aspects les plus significatifs de l'institution

et de son évolution », explique Julien Gressot, docteur en histoire des sciences et des techniques de l'université de Neuchâtel, dont la thèse était consacrée à l'histoire de l'Observatoire de Neuchâtel et de la mesure du temps². Poursuivant ses travaux en postdoctorat, le jeune chercheur assure la coordination scientifique du contenu des expositions, ainsi que la coédition du livre avec Amandine Cabrio, assistante au Service des archives et des manuscrits de la bibliothèque de Neuchâtel, qui réalise actuellement une thèse en histoire des sciences sur le contrôle des chronomètres par l'Observatoire de Neuchâtel. Julien Gressot met en avant l'organisation du volume en trois parties, correspondant davantage à « une reconfiguration progressive des dispositifs de mesure du temps », plutôt qu'à une chronologie au sens strict. Le cadre ainsi posé, le voyage dans l'espace et dans le temps peut commencer...

DES ÉTABLISSEMENTS SCIENTIFIQUES ET DE PRÉSTIGE

Observatoires de Genève, de Neuchâtel, de Besançon..., ces établissements scientifiques autant que monuments de prestige se multiplient entre 1850 et 1930, dans les pas de leurs illustres prédécesseurs, comme l'Observatoire de Paris, créé en 1667 et celui de Greenwich, datant de 1675. L'ouvrage explore leur histoire, et revient plus particulièrement sur la création de celui de Neuchâtel, plans à l'appui. Il dévoile les superbes aménagements de l'édifice, dont certains ont traversé le temps jusqu'à nous. « Le décor de l'Observatoire décline des thèmes chers à l'Art nouveau, comme le passage du temps, la fragilité de la vie ou les liens entre la Terre et le cosmos. Plus qu'une simple décoration, l'ensemble propose une vision poétique des relations

entre l'homme et l'univers, plutôt qu'une approche scientifique de l'astronomie. » L'étude de la genèse de l'Observatoire s'inscrit dans le contexte économique et politique suisse et européen de l'époque. Elle fait une large part aux développements des techniques de mesure du temps, entre autres motivés par les besoins de la navigation maritime sur fond d'expansion colonialiste et commerciale. « En 1726, John Harrison (1693-1776) construit une première horloge maritime. [...] Le but de ce garde-temps est de mesurer avec précision l'heure d'un lieu fixe connu, fonction particulièrement importante pour la navigation. Comme la Terre tourne à un rythme régulier et prévisible, la différence de temps entre le chronomètre et l'heure locale du navire peut être utilisée pour calculer la longitude du navire par rapport au méridien d'origine, définie par un observatoire astronomique, à l'aide de la trigonométrie sphérique. » Pendule, régulateur, cercle méridien, chronographe de marine, lunette astronomique..., les instruments mis au point au cours des XVIII^e et XIX^e siècles sont expliqués dans leur fonctionnement et leurs usages, tout comme le triple réfracteur photographique de Zeiss, le sismographe de Quervain-Piccard et sa masse de 18 tonnes, ou encore le micromètre impersonnel, datant du XX^e siècle, dont les seuls noms piquent la curiosité. Au tournant des années 1950, l'Observatoire commence à collaborer avec d'autres institutions et à se doter d'instruments innovants. « L'objectif premier est de maintenir la mesure du temps à la pointe du progrès, impliquant d'adapter l'instrumentation aux dernières innovations technologiques, afin de pouvoir démontrer le savoir-

faire et l'excellence helvétiques en termes de précision et *in fine* de promouvoir l'industrie horlogère suisse. » La physique et l'électronique prennent le relais des savoir-faire astronomiques et horlogers. Horloges atomiques à césium et horloges optiques font dès lors leur entrée dans les locaux de l'Observatoire. Aux côtés des bâtiments et des instruments, les hommes ne sont pas oubliés dans l'ouvrage, qui propose une galerie de portraits flamboyants, de Adolphe Hirsch (1830-1901), le premier directeur de l'Observatoire, à Sydney de Coulon (1889-1976), personnage clé de l'industrie horlogère, en passant par Matthäus Hipp (1813-1893), électronicien et inventeur prolifique surnommé l'« Edison suisse ». Au total, 236 pages d'une aventure technique et humaine passionnante, à la fois ancrée dans son territoire et tournée vers le monde.

¹ Exposition de l'association Automates et merveilles. Pour en savoir plus : www.etoiles-aux-atomes.ch

² Gressot J., *Forger le temps. L'Observatoire cantonal de Neuchâtel (1858-1960)*, Éditions Alphil, 2025.



Cabrio A., Gressot J. (éd), *Des étoiles aux atomes... L'Observatoire cantonal de Neuchâtel*, éditions Alphil, 2026.



De racines noueuses en branches emmêlées, de troncs serrés en cimes déployées vers le ciel, la forêt prête ses décors à de nombreuses scènes de la littérature, du théâtre ou du cinéma, où elle tient parfois même un rôle de personnage de premier plan. Lieu symbolique par excellence, la forêt nourrit l'imaginaire à travers l'espace et le temps, dans une foule de fictions analysées dans l'ouvrage *La forêt est une métaphore*.

ANALYSE [DE TEXTES]

IMAGINAIRES FORESTIERS

Près de trente auteurs, pour l'essentiel spécialistes de littérature, mais aussi d'arts visuels ou de musique, explorent ce lieu mystérieux entre tous

Tour à tour inquiétante et protectrice, sombre et parcourue de lumière, la forêt inspire la terreur aux enfants perdus, apparaît comme un espace de liberté forgeant l'héroïsme, sert de chemin initiatique, questionne voire révèle le lien entre l'humain et la nature. L'ouvrage *La forêt est une métaphore*, dirigé par Hélène Gallé et Yvon Houssais, enseignants-chercheurs à l'UMLP / laboratoire ELLIADD, reprend les contributions du colloque sur l'imaginaire de la forêt, organisé en 2023 à Besançon. Près de trente auteurs, pour l'essentiel spécialistes de littérature, mais aussi d'arts visuels ou de musique, explorent ce lieu mystérieux entre tous pour décrypter ses significations et sa portée, à travers nombre de récits ou mises en scène fictionnels. Ils transportent le lecteur d'un univers à un autre, de la période antique à l'époque contemporaine, d'un bois familier de feuillus aux arbres exotiques d'une forêt lointaine. La forêt de Blanche-Neige

ouvre naturellement un premier chapitre consacré à la littérature destinée à la jeunesse. Pascale Auraix-Jonchière, professeure de littérature française du XIX^e siècle à l'université Clermont-Auvergne, livre une analyse comparée de la représentation de la forêt à travers quelques-unes des versions du célèbre conte. « Dès sa première esquisse en 1810 on peut considérer que le conte des frères Grimm, *Schneewittchen*, est un conte de la forêt. » Elle montre à travers les versions suivantes comment la forêt, « qui n'est pas un simple cadre », va passer de la symbolique de l'initiation pour la jeune fille à celle de l'intériorisation pour la reine, dès lors que ce personnage devient central dans l'histoire. « La reine [...] a "une forêt dans la tête", et nous sommes invités à en sonder l'énigme ». Au chapitre des représentations anciennes de la forêt, Alain Corbellari, professeur de littérature française médiévale aux universités de Lausanne et de Neuchâtel, n'hésite pas à établir des liens entre *Les Schtroumpfs* et *Astérix*, avec la forêt pour

accroche. À la première page du *Domaine des Dieux*, l'auteur décrit « le fameux village gaulois pris, comme le village des Schtroumpfs, entre une forêt protectrice et un espace infranchissable, ici l'Océan Atlantique. L'aspect défensif de la forêt est en l'occurrence surdéterminé par le projet de César de la raser pour y construire une Cité radieuse dont le village gaulois ne serait plus, selon ses termes, qu'une "amphoreville" ». La vision de la forêt transcrite par les auteurs dans leurs BD entre pour une bonne part dans l'imaginaire médiéval qu'Alain Corbellari considère commun aux deux séries. « On pourrait croire l'univers d'*Astérix* bien éloigné du monde médiéval ; pourtant, au-delà de son évident ancrage dans l'Antiquité, *Astérix* déploie un imaginaire plus médiéval qu'antique. »

FORÊTS DU PASSÉ ET D'AILLEURS

Hélène Gallé, maître de conférences en langue et littérature médiévales à l'UMLP, étudie les rapports entre l'enfant et la forêt dans la chanson de geste au Moyen Âge, du destin « hors du commun » du nourrisson trouvé dans les bois à celui de l'enfant, « héros en devenir », qui y fait ses armes. « Intégrant des personnages inaccoutumés, nobles ou non, humains ou non, la forêt élargit le destin de l'enfant et le mène vers l'âge d'homme. En le fortifiant par l'épreuve, et en nourrissant son corps et son âme, la forêt conduit l'adolescent vers une maturité héroïque : traverser la forêt, c'est parcourir un chemin initiatique. »

Agrégée de lettres classiques et romancière, Myriam Kissel inaugure le chapitre sur les « forêts d'ailleurs » en relatant l'expérience des magistrats Alexis de Tocqueville et

Gustave de Beaumont, partis en 1831 enquêter sur le système pénitentiaire en Amérique. Publié en 1861, le récit *Quinze jours dans le désert* lui fournit matière à analyse sur la façon dont le regard des explorateurs change au cours de leur périple, qui s'indignent de la politique de défrichement imposée par les Blancs aux Indiens. « Il faut souligner l'intérêt de *Quinze jours dans le désert* qui associe le lexique préromantique de la nature, la sensibilité visuelle et un pressentiment de la destruction mondiale de la forêt. »

L'adaptation sur scène de *Voyage au pays des arbres* de J.M.G. Le Clézio, dans lequel l'auteur raconte la rencontre d'un enfant avec la forêt, est un exemple de la faculté des artistes à reproduire un univers tiré d'un texte littéraire. Aïcha Ayoub, doctorante à l'université de Tours et metteuse en scène, explique que, « avec ce conte merveilleux, l'auteur nous plonge dans une forêt vivante, où les arbres bavardent, s'amuse, se mettent en colère, chantent, dansent et veillent sur leur ami, le petit garçon ». Elle cite un extrait d'un autre livre de Le Clézio, *L'inconnu sur la terre*, qui, avec poésie, témoigne de l'importance de la relation de l'homme avec la forêt, et invite à s'en inspirer : « Quel que soit l'endroit du monde où je serai, quelle que soit l'occupation qui me possède, quelle que soit la ville de bruit et de fièvre, c'est à l'arbre que je donnerai ma pensée et mon souvenir, ce qui sera le plus beau de ma vie. [...] Je le verrai comme s'il était plus haut que n'importe quel horizon, et je serai une petite parcelle oubliée, une miette de terre, à l'abri sous la voûte éternelle de son ombre. »

« En le fortifiant par l'épreuve, et en nourrissant son corps et son âme, la forêt conduit l'adolescent vers une maturité héroïque : traverser la forêt, c'est parcourir un chemin initiatique »



Gallé H., Houssais Y. (sous la direction de), *La forêt est une métaphore, Actes du colloque sur l'imaginaire de la forêt*, PUFC, 2026.



« Mes amis, je crois que l'eau sera un jour employée comme combustible, que l'hydrogène et l'oxygène, qui la constituent, utilisés isolément ou simultanément, fourniront une source de chaleur et de lumière inépuisables. » La célèbre prédiction de Jules Verne dans *L'île Mystérieuse* (1874) se concrétise dès aujourd'hui dans un grand nombre de domaines, à l'heure de la transition énergétique et de la souveraineté industrielle...

GRAND FORMAT [TRANSITION ÉNERGÉTIQUE]

PLACE À L'HYDROGÈNE!

« Il est indispensable de continuer à soutenir le tissu scientifique et industriel pour favoriser le développement technologique »

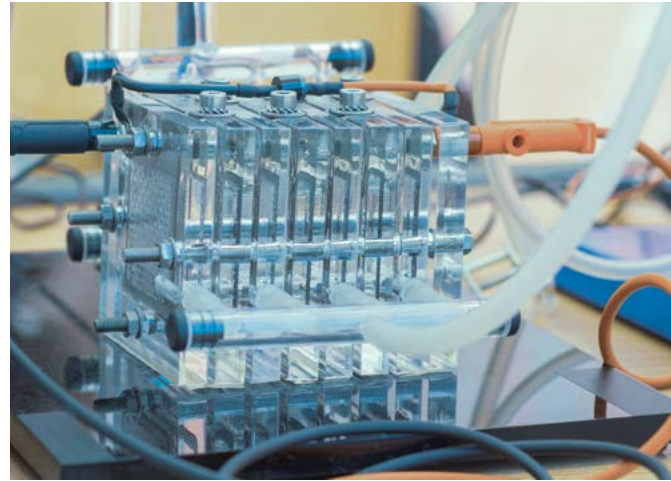
En juin dernier, la 25^e Conférence mondiale sur l'énergie hydrogène réunissait pas moins de 1 000 acteurs du domaine à Singapour. La prochaine se tiendra en 2028 à Paris, autour d'un même public de scientifiques et d'industriels. « C'est un signe fort de la reconnaissance de l'implication et de la capacité de la France dans le développement de technologies incontournables pour l'avenir », estime Daniel Hissel, vice-président de l'université Marie et Louis Pasteur (UMLP), directeur-adjoint de la Fédération nationale de recherche sur l'hydrogène, et qui sera l'un des deux coprésidents de l'édition 2028 de la conférence. « Mais les efforts demandent à être poursuivis. En France, le programme Hydrogène lancé en 2020 n'est pas suffisamment relayé par de nouveaux projets, alors même que nous sommes dans une étape de consolidation à l'échelle mondiale. Si certaines entreprises ont dû recentrer leur activité au fil du temps, d'autres sont plus que jamais dans la course. Il est indispensable de continuer à soutenir le tissu scientifique et industriel pour favoriser le développement technologique. » Au niveau mondial, la Chine a annoncé faire de l'hydrogène une priorité de son plan quinquennal, l'Inde est également fortement engagée dans le domaine et vise à devenir l'un des acteurs majeurs de la production d'hydrogène vert dès 2030. « L'Europe reste en très bonne position sur

Une foule de projets et de réalisations sont sortis des laboratoires, souvent avec des entreprises, une dynamique à l'origine de la construction d'une filière hydrogène à l'échelle du territoire

l'échiquier international, mais elle doit continuer à investir et à monter en compétence pour conserver sa place », confirme Marie-Cécile Péra, professeure à l'UMLP et directrice du FCLAB, la plateforme expérimentale belfortaine dédiée aux recherches sur l'hydrogène. « La problématique de l'énergie, de l'hydrogène en particulier, demande du temps et de la constance. En Europe, et notamment en France, il est important de garder le cap, de continuer à défendre ses objectifs. »

Marie-Cécile Péra souligne la motivation et le savoir-faire des PME locales, de même que l'implication sans faille du Grand Belfort et de la Région Bourgogne - Franche-Comté depuis les débuts de l'aventure hydrogène voilà plus de vingt-cinq ans dans le Nord Franche-Comté, un territoire pionnier dans le domaine.

Entre autres initiatives liées à des projets de recherche, le Nord Franche-Comté a vu dès les années 2010 la première flotte de véhicules hydrogène homologués en France se lancer sur ses routes, avec MobyPost pour la distribution du courrier postal, avant d'assister plus récemment à la mise en circulation de bus hydrogène à Belfort ou de décider la construction de logements sociaux alimentés en énergie hydrogène, projet porté par Territoire Habitat. Qu'ils concernent la mobilité ou le bâtiminaire, une foule de projets et de réalisations sont sortis des laboratoires de recherche, souvent en collaboration avec des entreprises, une dynamique à l'origine de la construction d'une filière hydrogène à l'échelle du territoire. De la production d'hydrogène vert



Pile à combustible en laboratoire - Photo Adobe Stock

LE CYCLE DE L'HYDROGÈNE

L'hydrogène est un vecteur énergétique : c'est un support qui permet de transporter de l'énergie, de passer d'une énergie disponible dans l'environnement, comme la force de l'eau, à l'énergie finale utilisable par le consommateur, comme l'électricité délivrée au compteur d'une habitation. Dans le Nord Franche-Comté, les recherches sur l'hydrogène, ainsi que leurs développements, ont toujours mis l'accent sur la question de la durabilité. Des installations garantissent la production d'hydrogène « vert » par électrolyse de l'eau : les rayons du soleil captés par des panneaux

photovoltaïques sont convertis en électricité, qui sert à réaliser la séparation des molécules d'hydrogène dans l'eau lors de l'électrolyse. L'hydrogène est ensuite stocké sous forme gazeuse ou d'hydrures métalliques dans des réservoirs, dont des versions miniatures peuvent être directement embarquées sur des véhicules. L'hydrogène est alors reconverti à la demande en électricité. Cette opération est assurée par une pile à combustible (PAC), placée directement sur le véhicule dans le cas des applications pour la mobilité. La transformation de l'hydrogène en électricité ne génère

aucune pollution locale : seules quelques gouttes d'eau résiduelles témoignent du processus.

À noter que de récents travaux de recherche concernent l'hydrogène « blanc » à l'UMLP, notamment avec la création d'une chaire de professeur junior dédiée à ce sujet au laboratoire Chrono-environnement. L'hydrogène blanc est l'hydrogène produit naturellement. Les chercheurs en géologie orientent leurs travaux vers la croûte continentale, qui pourrait receler des gisements d'hydrogène issus des profondeurs de la Terre. (cf *en direct* n°306, mai-juin 2023)

par électrolyse de l'eau jusqu'au déploiement de solutions de stockage, de la mise au point de systèmes piles à combustible (PAC) jusqu'à leur intégration dans les chaînes de traction de véhicules lourds ou dans des groupes électrogènes, tous les maillons de la chaîne sont maîtrisés par les spécialistes.

LES ÉQUIPEMENTS PLACENT LA BARRE TRÈS HAUT

Les équipements sont à la hauteur des réalisations et des ambitions, comme en témoignent les dernières acquisitions du FCLAB, obtenues grâce au projet national DurabilitHy. Lauréat en 2021 de l'appel à projets Programme et équipement prioritaire de recherche (PEPR) France 2030, DurabilitHy a pour partenaires l'université de Toulouse, porteuse du projet, l'université de Lorraine et l'UMLP. Il présente un budget de plus de 28 millions d'euros sur 8 ans, pour une aide de 12,5 millions d'euros, qui permet une montée en puissance et en complémentarité des plateformes sur lesquelles sont menées leurs recherches sur l'hydrogène. Les 4,6 millions d'euros d'aides qui ont été alloués à la plateforme belfortaine lui donnent l'opportunité d'améliorer son parc, au point de disposer d'équipements uniques en France et de se placer au plus haut niveau à l'échelle européenne. « DurabilitHy est un projet tiré par le terrain, par les applications. Les équipements acquis à ce titre répondent directement aux problématiques d'usage qui intéressent les industriels », explique Marie-Cécile Péra. La durabilité des systèmes de puissance est au cœur des objectifs. Des bancs d'essais de 15 kW permettent de tester des piles à combustible sur la longue durée. « Ces bancs peuvent être couplés de façon à assembler plusieurs sous-systèmes, dont il est possible

de faire varier la puissance. C'est le meilleur moyen d'optimiser un système dans sa globalité. »

D'autres bancs d'essai, qu'il est possible de coupler de la même manière pour tester différents composants d'un système, ont rejoint le parc dédié aux électrolyseurs pour la production d'hydrogène. « Deux d'entre eux fonctionnent à plein régime, un troisième est en montage, et des bancs jumeaux sont attendus pour l'automne. » Une chaîne complète électrolyseur / PAC sera disponible pour le domaine bâtimentaire. Elle donnera la possibilité de réaliser des tests de gestion de l'énergie, entre l'intermittence des apports des énergies renouvelables et la variabilité des besoins de la consommation. Ainsi, un système complet à échelle réelle, électrolyseur / réservoir / pile à combustible / batteries, placé dans un conteneur maritime, sera connecté à l'un des bâtiments du futur Écocampus de Belfort, pour compléter les tests par une expérience de terrain. « Dans ces expériences, il est par exemple envisagé de programmer les profils d'ensoleillement des panneaux photovoltaïques, en fonction d'une courbe de production déterminée selon les besoins de la consommation. Elles viendront compléter les données acquises sur un démonstrateur par ailleurs en cours de réalisation dans le cadre de la construction de logements sociaux à Belfort ».

Les acquisitions d'équipements réalisées dans le cadre du projet DurabilitHy demandent à pousser les murs de la plateforme d'origine : des locaux loués à la société Tandem par l'UMLP, sur le site de Techn'hom à Belfort, ont été adaptés pour se prêter aux conditions de la recherche ; ils permettent aujourd'hui de réaliser les essais sur l'électrolyse de l'eau pour la production d'hydrogène.



Photo Simon Daval - Pénibles & Cie

La plateforme belfortaine voit s'améliorer son parc au point de disposer d'équipements uniques en France et de se placer au plus haut niveau à l'échelle européenne

¹ L'école de l'hydrogène compte pour partenaires la Région Bourgogne - Franche-Comté, le Rectorat académique, l'UMLP, l'UTBM, l'ENSAM, l'UIMM, le CMQ Agroéquipements, le CMQ Automobiles et Mobilités du Futur (AMF), le CFAI 21-71, le CFAI FC, le PF UIMM 58-89, le Pavillon des sciences, le Pôle véhicule du futur, et les entreprises Danielson Engineering, Forvia, Gen-hy et H2Sys. Doté d'un budget d'environ 10 millions d'euros sur cinq ans, le projet est lauréat de l'appel à manifestation d'intérêt « Compétences et métiers d'avenir » du programme France 2030, et bénéficie à ce titre d'un soutien de 6 M€ opéré par la Caisse des dépôts.

La montée en puissance des connaissances concerne non seulement les jeunes en formation initiale, mais aussi les salariés des entreprises

RENTREE DE L'ÉCOLE DE L'HYDROGÈNE

Elle a officiellement débuté en janvier 2026, mais n'a pas à proprement parler ouvert ses portes : l'école de l'hydrogène est une école hors les murs, un réseau d'établissements mobilisés autour d'un objectif : renforcer la place de l'hydrogène dans l'offre de formation. Projet porté par la Région Bourgogne - Franche-Comté, l'école de l'hydrogène¹ s'appuie sur des ressources académiques et des collaborations avec le monde de l'entreprise pour favoriser un enseignement adapté du CAP au doctorat. « Il s'agit de structurer l'offre sur le territoire, de renforcer les formations déjà existantes et de donner une coloration hydrogène à d'autres », explique Thomas Gauby, chef du projet à la Région. « Cette coloration sera plus ou moins marquée en fonction des objectifs. Elle ira de quelques heures de découverte à des modules spécialisés pleinement inscrits à certains programmes, et s'assurera de tisser un lien entre les cursus scolaires et universitaires. »

« Des modules sur la compréhension technique du vecteur hydrogène sont ainsi ouverts à l'UMLP/ IUT Nord Franche-Comté, par exemple dans le cadre du BUT Techniques de commercialisation, précise Daniel Hissel. Des doctorats sont financés sur des sujets mêlant à la fois des aspects techniques et des sciences humaines et sociales ; de portée significative pour le développement de la filière hydrogène, ils favoriseront la mise en place de nouveaux partenariats stratégiques avec des organisations en France ou à l'international ».

La montée en puissance des connaissances concerne non seulement les jeunes en formation initiale, mais aussi les salariés des entreprises par le biais de la formation continue, toujours en lien avec les besoins industriels et les tendances de la filière. Et pour assurer tous les enseignements de ce continuum, l'école de l'hydrogène prévoit en premier lieu de dispenser des formations... aux formateurs. La boucle est ainsi bouclée autour d'un collectif construit, et pensé de façon à renforcer l'attractivité du territoire comme de l'école. « Si le Nord Franche-Comté est aux avant-postes de la filière hydrogène, des acteurs du domaine sont présents partout en région ; l'offre de formation concernera ses huit départements », indique Thomas Gauby.

L'HYDROGÈNE ENTRE EN GUERRE

On le sait depuis les débuts du conflit en Ukraine, la façon de mener une guerre a changé. Sur le terrain, le matériel lourd laisse place aux drones, aux capteurs et autres équipements *high tech* et compacts. Les gros mo-

teurs à combustion passent la main aux batteries lithium pour une alimentation tout électrique. Mais comme les civils, les militaires se heurtent à la double problématique de l'autonomie et du temps de recharge de ces batteries. Pour pallier ces inconvénients, l'hydrogène s'avère une piste prometteuse, explorée dans un projet européen auquel participe l'UTBM. L'Estonie, la Slovaquie, la Grèce et la France sont les pays engagés dans ce projet, dont les partenaires sont soutenus par leurs ministères de la défense respectifs. « L'ambition de l'Europe est d'être autonome et maître de ses approvisionnements, dans un contexte marqué par des risques de conflit sur son territoire », explique Fei Gao, professeur en génie électrique à FEMTO-ST et en charge du projet à l'UTBM. « L'un des objectifs du projet est de produire de l'hydrogène directement sur le théâtre des



« L'un des objectifs du projet est de produire de l'hydrogène directement sur le théâtre des opérations, grâce à des systèmes portables fonctionnant à l'énergie solaire ou éolienne, et adaptés au contexte militaire »

² Accompagnement spécifique des travaux de recherche d'intérêt défense.

opérations, grâce à des systèmes portables fonctionnant à l'énergie solaire ou éolienne, et adaptés au contexte militaire. » Cette solution permettrait de s'affranchir de la dépendance aux convois et aux opérations de réapprovisionnement, qui exposent les soldats et apportent un risque supplémentaire de voir leurs positions identifiées. Autre avantage, et non des moindres, les systèmes pile à combustible envisagés allègeraient considérablement les équipements, avec une réduction de poids prévue jusqu'à 70 % par rapport aux batteries actuellement utilisées, pour fournir l'électricité aux engins, tels que les drones aériens, et au matériel utilisé par les soldats pour la communication, la géolocalisation, la vue nocturne... C'est la première fois que l'UTBM est engagée dans un consortium européen sur l'hydrogène pour la défense. « Signé fin 2025 pour trois ans, doté d'un budget de quatre millions d'euros, ce projet très ambitieux a fait l'objet d'une sélection exigeante au niveau scientifique et auprès des fabricants, qui sont tous européens », souligne Fei Gao.

Également conclu pour trois ans, lauréat en 2024 de l'appel à projet national ASTRID², le projet AUV-EH₂ s'écrit ainsi : AUV pour système de sous-marin autonome, E pour électricité, H₂ pour hydrogène. Il a pour objectif la mise au point de drones sous-marins fonctionnant à l'hydrogène et connectés à une station de rechargement en pleine mer, pour assurer l'exploration et la surveillance des fonds maritimes dont le territoire français est particulièrement pourvu. « Le projet combine des applications à la fois civiles et défense », explique Daniel Hissel, qui en est le responsable à l'UMLP et à FEMTO-ST. « Ces drones seront chargés d'effectuer des reconnaissances militaires, d'inspecter des infrastructures sous-marines et de réaliser des explorations scientifiques, par exemple de surveiller l'état de santé des barrières de corail en Polynésie. » L'importance du périmètre concerné et plus encore la distance qui souvent sépare les zones à investiguer des infrastructures côtières invitent à recourir à des drones. Là encore, les systèmes hydrogène offrent davantage d'autonomie que les batteries, et sont de plus intéressants pour leur impact moindre sur l'environnement, et pour leur discrétion. Le rechargement des drones sera assuré sur des plateformes flottantes qui, en fonction des besoins et de la houle, produiront de l'électricité ou de l'hydrogène. « Les piles à combustibles mises au point pour cette application sont des systèmes hydrogène/oxygène, pour lesquels des essais sont en cours à Belfort. Pour garantir l'efficacité du procédé et l'autonomie de fonctionnement des dispositifs, il est prévu que les plateformes soient dotées de deux réservoirs, un pour chacun de ces gaz », précise Daniel Hissel.

PRODUIRE... ET CONSOMMER LOCAL



En matière de production d'électricité pour des applications civiles, la logique des grands ensembles fait entrer les technologies hydrogène dans des infrastructures lourdes et de grands réseaux, à l'instar des installations existantes, comme les centrales nucléaires. En marge de cette optique, un courant veut privilégier le développement d'équipements à petite échelle, adaptés à leur contexte et maîtrisables par les usagers. Cette tendance *Low-Tech*, ou basse technologie, connaît un fort engouement depuis une dizaine d'années, par exemple en France où elle se matérialise dans les Low-Tech Labs. « Ces technologies sont conçues pour être utiles et répondre à des besoins essentiels. Elles sont accessibles, d'un fonctionnement simple à comprendre, comme celui d'un vélo. Dans un souci de durabilité, elles

L'HYDROGÈNE ? LA PREUVE !

Au cours du XX^e siècle, les tentatives pour mettre au point des technologies hydrogène se sont majoritairement soldées par des échecs. Mais certaines sont sorties du lot. Nicolas Simoncini met en valeur ces expériences souvent oubliées dans un travail de recherche actuellement en cours de publication

scientifique. Dès 1918 par exemple, un camion à hydrogène avait fait l'objet d'un dépôt de brevet à Grenoble. En 1979, un professeur de lycée technique alimentait le moteur thermique de sa Simca 1000 à l'hydrogène, qu'il obtenait par électrolyse de l'eau de façon autonome grâce un concentrateur solaire de

263 miroirs. « Ces expériences ont fonctionné parce qu'elles étaient robustes, et parce que le rendement n'était pas l'objectif premier. Pendant la guerre ou au moment de la crise pétrolière, lorsque le carburant manquait ou était trop cher, la priorité était de trouver de nouvelles sources d'énergie et d'autres manières de fonctionner. » Dans les dirigeables, l'hydrogène remplaçait l'hélium, qui n'était pas disponible en France au début du XX^e siècle. À noter que Belfort disposait, dès la fin du XIX^e siècle, d'un camp aéronautique équipé de deux énormes hangars abritant des ballons à hydrogène, d'où ils étaient lancés pour effectuer leurs missions. Une expérience historique cependant sans lien avec le développement actuel d'une filière hydrogène dans le Nord Franche-Comté !



Il serait possible
de s'inspirer
de fonction-
nements en
environnement
contraint pour
développer
de nouvelles
manières de
produire et de
consommer
l'énergie

se développent à une échelle raisonnable et privilégient l'utilisation de matériaux qui limitent les problèmes d'extraction ou d'enjeux de souveraineté », expliquent les enseignants-chercheurs Nicolas Simoncini et Robin Roche. Nicolas Simoncini enseigne l'histoire et la sociologie des techniques à l'UTBM et mène ses recherches dans l'équipe RECITS de l'Institut FEMTO-ST. Enseignant à l'UMLP/ IUT Nord Franche-Comté, Robin Roche est un spécialiste des systèmes énergétiques, des micro-réseaux et de l'hydrogène, et dirige le département Énergie de FEMTO-ST. Tous deux travaillent à appliquer le concept *Low-Tech* dans les technologies hydrogène et les énergies renouvelables. Leurs travaux les conduisent par exemple sur l'île de La Réunion pour étudier des fonctionnements en environnement contraint, dont il serait possible de s'inspirer pour développer de nouvelles manières de produire et de consommer l'énergie. « En haut des montagnes réunionnaises, certaines maisons ne sont pas reliées au réseau. L'électricité est produite sur place par des panneaux photovoltaïques, et stockée dans des batteries à l'intérieur des maisons. Les habitants assurent eux-mêmes la maintenance de ces micro-réseaux électriques. » Les chercheurs constatent que le comportement des usagers est différent : « Quand on rapproche les sites de production et de consommation, les gens acquièrent une sensibilité technique particulière, ce qui les incite à diminuer leur consommation d'énergie ». À partir de ce type d'expériences, la réflexion des chercheurs s'oriente vers le concept de robustesse, qui vient en opposition à la notion de performance. « La robustesse est la voie choisie par le vivant. Les plantes, par exemple, se contentent de capter une infime partie de la lumière à leur disposition pour croître et vivre, c'est un fonctionnement en sous-régime qui leur réussit depuis des milliards d'années », illustre Nicolas Simoncini. Le *Low-Tech* invite à repenser les systèmes pour qu'ils

Tester différents polymères permet de trouver des indicateurs d'endommagement, qui seront utiles pour établir des comparaisons entre les matériaux et contribuer à la sélection de nouveaux

s'adaptent à différents contextes, et à les concevoir de manière à ce qu'ils soient réparables par les usagers, entre autres qualités. « Pour répondre à ces objectifs parfois contraires, il est nécessaire de trouver un équilibre entre diversité et standardisation. C'est un grand défi posé à la technologie », explique Robin Roche.

SOLUTIONS DE STOCKAGE OPTIMALES

Stocker de l'hydrogène est notamment possible sous forme solide, par le biais d'hydrures métalliques, et à haute pression sous forme gazeuse : c'est le stockage hyperbare. L'étude et l'optimisation de cette deuxième solution est au cœur du projet national Hyperstock, qui s'achèvera l'an prochain au terme de cinq années de travail.

Hyperstock est l'un des sept projets de R&D élus en 2022 au titre du PEPR-H2, le Programme et équipement prioritaire de recherche sur l'hydrogène décarboné. Il bénéficie d'un budget global de près de 4 millions d'euros et des compétences d'une trentaine de chercheurs, doctorants et post-doctorants affiliés à sept laboratoires de recherche, au CEA et au CNRS. L'une des recherches menées au département Mécanique appliquée de l'Institut FEMTO-ST concerne l'un des éléments clés du stockage hyperbare : le *liner* polymère, qui constitue une enveloppe étanche dans le réservoir. Les parties métalliques impliquées dans le raccordement au réseau et les canalisations sont un sujet traité par les partenaires du projet. Professeur en matériaux et génie mécanique à l'antenne de Dole de l'UMLP/IUT Besançon-Vesoul/ Institut FEMTO-ST, David Chapelle pilote ce projet national et dirige des travaux pour éprouver le comportement mécanique des matériaux utilisés dans les réservoirs commerciaux de type IV : « La caractérisation des matériaux s'opère après des cycles répétés de chargement et de déchargement à l'eau dans les réservoirs, et à l'hydrogène sur des échantillons de *liner*, des cycles qui peuvent connaître des vidages parfois très rapides et des variations thermiques importantes. L'objectif est de comprendre comment le gaz se diffuse dans le matériau, le risque d'endommagement et les formes que cet endommagement peut revêtir. » Car une partie de l'hydrogène se diffuse et se concentre dans le polymère du *liner* lors du chargement, avant de reprendre sa forme gazeuse lors de déchargements rapides. « Les analyses déjà réalisées sur des matériaux commerciaux, tels que PA ou PEHD, montrent que si les *liners* polymères étudiés peuvent présenter quelques défauts à l'échelle nanométrique, ceux-ci n'ont pas d'impact sur la réponse mécanique du matériau, ce qui témoigne d'un très bon comportement. »

Tester différents polymères permet de trouver des indicateurs d'endommagement, qui seront utiles pour établir des comparaisons entre les matériaux et contribuer à la sélection de nouveaux.

Le métal est l'autre classe de matériaux à laquelle ce travail s'intéresse. Il s'agit là aussi de suivre la diffusion de l'hydrogène et de mesurer la fragilisation des éléments métalliques à son contact, afin de comprendre et de pouvoir contrer les phénomènes à l'œuvre. Cinq thèses sont consacrées à ces processus combinant différentes échelles, depuis celle de l'atome d'hydrogène, dont la présence influe sur la plasticité par interaction avec les dislocations, jusqu'à la dimension macroscopique, pour laquelle la réponse mécanique d'éprouvettes métalliques est observée, en chargements gazeux ou cathodiques. Le but de ces analyses est d'établir des analogies entre eux, et des préconisations sur



L'IA permet d'établir des diagnostics sur les systèmes hydrogène et des pronostics sur leur espérance de vie

³ L'IA symbolique, qui se traduit par des représentations en images des problématiques; l'IA par apprentissage automatique, et notamment le machine learning; l'IA générative, qui crée du contenu à partir de grandes quantités de données.

Contacts :

Région Bourgogne - Franche-Comté

Thomas Gauby

thomas.gauby@bourgognefranchecomte.fr

Institut FEMTO-ST

UMLP/ SUPMICROTECH/ UTBM/ CNRS

Département Énergie

Daniel Hissel

daniel.hissel@umlp.fr

Marie-Cécile Péra

marie-cecile.pera@umlp.fr

Fei Gao

fei.gao@utbm.fr

Robin Roche

robin.roche@umlp.fr

Zhongliang Li

zhongliang.li@umlp.fr

Équipe RECITS

Nicolas Simoncini

nicolas.simoncini@utbm.fr

Département Mécanique appliquée

David Chapelle

david.chapelle@umlp.fr

les matériaux, que ce soit pour reconsidérer les coefficients de sécurité qui leur sont appliqués, ou pour disposer d'outils adaptés en vue de proposer des traitements spécifiques.

PLUS VITE AVEC L'IA

Ouvrir une pile à combustible en fonctionnement est impossible !

Réaliser des tests sur un système hydrogène demande beaucoup de temps !

En contournant ces obstacles, l'intelligence artificielle (IA) s'impose depuis plusieurs années à l'Institut FEMTO-ST. L'IA permet de mieux comprendre les systèmes hydrogène, d'établir des diagnostics sur leur fonctionnement et des pronostics sur leur espérance de vie, et de réduire la durée des tests avant leur mise sur le marché. « Produire une PAC demande une dizaine de minutes, la tester prend 2 h 30 en bout de chaîne de fabrication. Dans un projet actuellement en cours, de vrais tests sont utilisés pour générer, par intelligence artificielle, de "faux tests" qui combinent les données en fonction de différents paramètres, comme la température, la pression..., et qui sont en définitive très proches de la réalité, explique Daniel Hissel. L'IA permet une meilleure exploitation des données disponibles, pour définir les protocoles de tests les plus efficaces possible. »

Selon les objectifs visés, différentes branches de l'IA³ sont convoquées par les spécialistes. « L'IA est utilisée pour modéliser les systèmes PAC ou les électrolyseurs, ainsi que leurs processus de dégradation », explique Zhongliang Li, titulaire d'une chaire de professeur junior en génie électrique à l'UMLP. L'IA permet de compléter ou de simplifier les modèles physiques, voire de leur substituer des modèles fondés sur les données, afin d'optimiser les procédés. « On remplace un système par un émulateur, un jumeau numérique qui se comporte comme lui. L'IA permet de rendre plus efficace le calcul nécessaire à l'implémentation des modèles numériques, notamment lorsqu'ils doivent fonctionner en temps réel. »

Prédire la durée de vie restante d'une pile à combustible est le fait d'outils embarqués de diagnostic et de pronostic, qui font intervenir des réseaux de neurones. Ces éléments de connaissance sont indispensables pour améliorer la conception, la fabrication et l'exploitation des PAC. Le contrôle de la répartition d'énergie dans des systèmes hybrides, par exemple entre une PAC et des batteries, est issu de l'apprentissage d'un modèle, lui-même affiné avec un apprentissage automatique par renforcement. « On ne peut intégrer toutes les conditions de fonctionnement des systèmes dans des expériences. Grâce à la masse de données qu'elle est capable de traiter, l'IA donne la possibilité de les explorer par simulation numérique. »

Du côté de la production, les électrolyseurs à membrane échangeuse de protons (PEMWE) sont la cible du projet ANR DuraPEME, coordonné par Zhongliang Li. Si la technologie se présente comme prometteuse, la durée de vie de ces électrolyseurs apparaît insuffisante pour que la solution soit pleinement viable. Optimiser leurs paramètres de fonctionnement semble être la clé pour réussir à augmenter leur longévité, mais ce cheminement implique des phénomènes physico-chimiques complexes à plusieurs échelles. Là encore, l'IA apporte sa puissance de feu en matière de recueil et de traitement des données. « Le projet DuraPEME veut contribuer à améliorer la durabilité de ces électrolyseurs en développant un modèle de dégradation multi-échelle accélérée par l'intelligence artificielle, explique le chercheur. Ce modèle combine des données expérimentales, issues de tests menés sur des bancs d'essai, et des données fournies par des lois physiques, qui se traduisent en équations. » Le couplage des aspects multi-physiques et semi-empiriques dans un seul modèle, grâce à l'IA, pourra aider à la conception des électrolyseurs et à l'optimisation des procédés.



en-direct

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

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

EN DIRECT EST ÉDITÉ PAR :

**Université
Marie et Louis Pasteur^{1/2}**
1, rue Claude Goudimel
25030 Besançon cedex
Président : Hugues Daussy
Tél. +33 (0)3 81 66 50 03

SUPMICROTECH^{1/2}
Chemin de l'Épitaphe
25030 Besançon cedex
Directeur : Pascal Vairac
Tél. +33 (0)3 81 40 27 00

Université de Neuchâtel¹
Avenue du 1^{er} mars 26
CH - 2000 Neuchâtel
Rectrice : Deniz Gyger Gaspoz
Tél. +41 (0)32 718 10 20

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

Haute Ecole Arc¹
Espace de l'Europe 11
CH - 2000 Neuchâtel
Directeur : Tristan Maillard
Tél. +41 (0)32 930 11 11

ISSN : 0987-254 X (imprimé), 3037-0272 (en ligne). Dépôt légal : à parution.
Commission paritaire de presse : 2262 ADEP. 6 numéros par an.
Pour s'abonner gratuitement, formulaire en ligne sur endirect.univ-fcomte.fr
Suivez-nous sur LinkedIn : [company/journal-en-direct](https://www.linkedin.com/company/journal-en-direct)

¹ Établissement membre de la Communauté du savoir, réseau de collaboration de l'Arc jurassien franco-suisse. ² Membre fondateur de l'établissement public expérimental (EPE) Université Marie et Louis Pasteur (UMLP).