

EN DIRECT

LE JOURNAL DE LA RECHERCHE ET DU TRANSFERT DE L'ARC JURASSIEN - NUMÉRO 312 - MAI - JUIN 2024



GRAND FORMAT [PRISE DE MESURES]

MONDES PARALLÈLES EN CONSTRUCTION

LUNES DE SATURNE

Mimas : sous la glace, l'océan

PATRIMOINE ÉCRIT

Donner un nouveau sens aux documents historiques

CASSE-TÊTE [MONDIAL]

Transition énergétique : le risque zéro n'existe pas

FILIÈRE [EN CONSTRUCTION]

La formation hydrogène monte en puissance



EN DIRECT

NUMÉRO 312 - MAI - JUIN 2024

3 | ACTUALITÉS

- Mimas : sous la glace, l'océan
- Améliorer la logistique pour produire moins de déchets médicaux
- Donner un nouveau sens aux documents historiques
- L'IVG à l'échelon le plus haut du droit français
- Petites dimensions et grandes innovations dans l'Arc jurassien
 - Horloges de volumes (très) réduits
 - Microballon de foot
- La Franche-Comté des Habsbourg, de A à Z

12 | CASSE-TÊTE [MONDIAL]

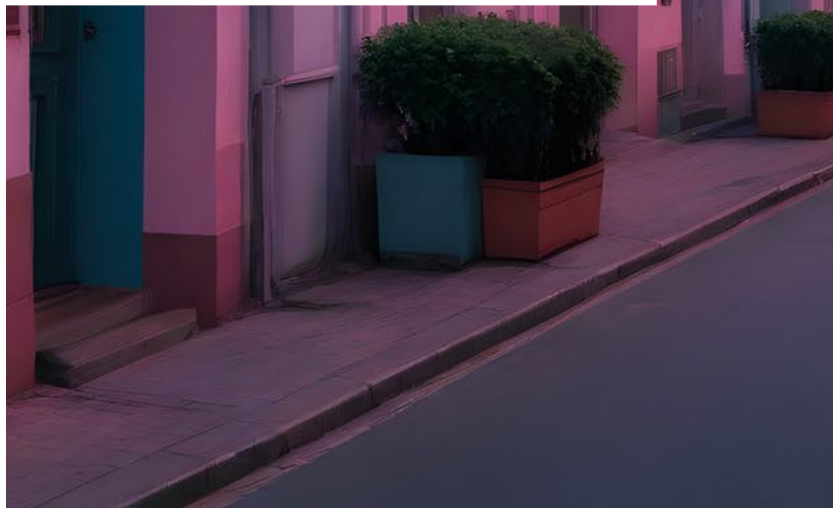
Transition énergétique : le risque zéro n'existe pas

14 | FILIÈRE [EN CONSTRUCTION]

La formation hydrogène monte en puissance

16 | GRAND FORMAT [PRISE DE MESURES]

Mondes parallèles en construction



LUNES DE SATURNE

MIMAS : SOUS LA GLACE, L'OCÉAN

Créant la surprise, une équipe internationale de chercheurs a découvert l'existence d'un océan sous la surface gelée de Mimas. Un océan recouvrant la totalité de ce satellite de Saturne, à une vingtaine de kilomètres de profondeur sous l'épaisseur visible de glace. Les apparences jouaient pourtant contre cette lune couverte de cratères, en principe caractéristiques d'une absence d'activité interne des objets célestes.

Mais si Mimas apparaît de prime abord comme un corps froid sans grand intérêt, sa proximité avec Saturne et ses célèbres anneaux le rendent remarquable, et ses dimensions se prêtent bien à l'analyse. De quoi forcer la curiosité des chercheurs, alors que les données rapportées par la sonde Cassini, au terme d'un voyage de treize années autour de Saturne, fournissent l'occasion d'exploiter des informations inédites sur le proche voisinage de la planète géante. Les travaux des scientifiques vont dès lors révéler l'importance que Mimas revêt en réalité.

UNE SÉRIE DE RÉSULTATS MAJEURS

Couronnée par un article paru dans la revue *Nature* en février dernier, leur découverte d'un océan recouvrant Mimas apparaît comme le point d'orgue d'avancées majeures et obtenues en tout juste dix ans. « Dans un article publié dans *Science* en 2014, nous observions que la rotation de Mimas autour de son axe s'accompagne d'oscillations. Ce phénomène, appelé *libration*, est plus ou moins marqué selon la structure interne de l'objet. Les oscillations étaient

ici trop importantes pour être l'œuvre d'un corps aussi glacé que le laissait supposer la surface de Mimas », explique Benoît Noyelles à l'Observatoire de Besançon, membre de l'équipe scientifique internationale. C'était là le premier indice d'une activité interne de Mimas. Les chercheurs mettent ensuite en évidence que le jeu des

entre des anneaux abondant en glaces éclairées par le soleil. « Le mouvement orbital de Mimas a pu faire l'objet de calculs très précis grâce aux images prises pendant des années par la sonde Cassini », précise Benoît Noyelles. Les données permettent aussi de dire que la lune s'éloigne peu à peu de la planète, et qu'à l'échelle de plusieurs millions

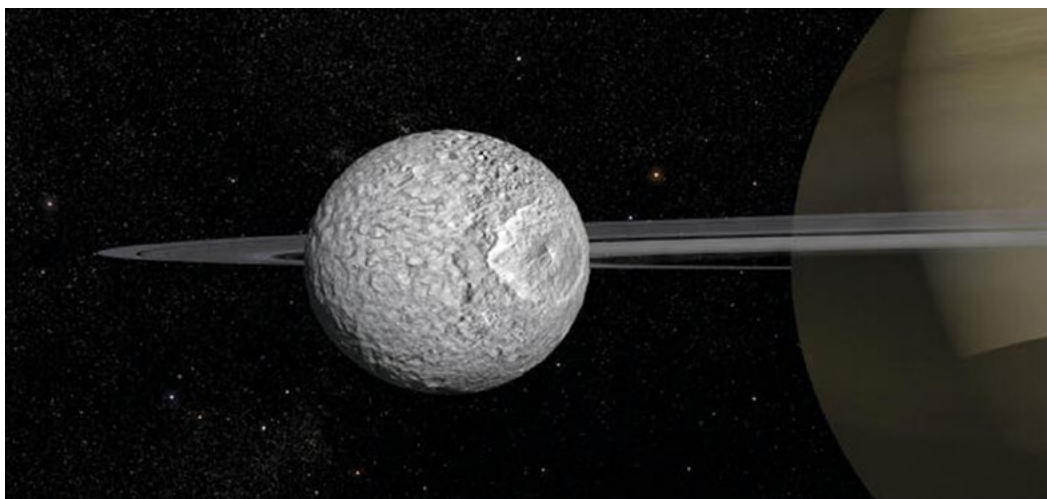


Image recomposée de Mimas. Frédéric Durillon - ANIMEA STUDIO - Observatoire de Paris-PSL-IMCCE

attractions saturniennes, des interactions de même nature que celles prévalant entre la Terre et la Lune, a forcé l'orbite de Mimas à prendre une forme elliptique et ainsi à se rapprocher périodiquement de Saturne. En 2019, ils montrent que la modification de l'orbite de Mimas est à l'origine de la formation de la bande noire très visible qui sépare les deux parties les plus brillantes des anneaux de Saturne, appelée division de Cassini. À chacun de ses passages, le satellite a repoussé les morceaux de glace tournant autour de la planète à la manière d'un chasse-neige, libérant ainsi un espace d'une largeur de 4 700 km, de faible densité et donc sombre,

d'années, la division de Cassini devrait s'effacer, redonnant toute leur place aux anneaux. La dérive orbitale de Mimas était un autre signe d'une activité interne du satellite, le phénomène s'accompagnant nécessairement de frictions internes provoquant son réchauffement. Début 2014, la confrontation des observations et des modèles mathématiques permet de conclure à l'existence d'un océan sous sa surface, et ce n'est pas la moindre des surprises que réservait le satellite de Saturne. La présence d'une étendue d'eau aussi vaste est habituellement trahie par une surface lisse et craquelée du corps céleste concerné. Si Mimas offre toujours un aspect cratérisé,

c'est parce que son océan ne s'est formé que récemment, selon les critères de l'astronomie, à savoir il y a quelque dix millions d'années.

Cet océan est le quatrième identifié sur des satellites de planètes du système solaire, Europe et Ganymède pour Jupiter, Encelade et désormais Mimas pour Saturne. Les océans sont des objectifs de prédilection de la recherche astronomique, car ce sont des milieux susceptibles d'abriter une vie bactériologique, une potentialité qui n'a pour l'instant pas de réalité.

Lever le voile sur Mimas signifie aussi reconsidérer certains postulats scientifiques et ouvrir le champ de la connaissance.

« Il apparaît clairement que le système n'est pas figé, bien au contraire. Il continue d'évoluer, et nous en sommes les témoins à travers l'observation de Mimas. »

Lainey V., Rambaux N., Tobie G., Cooper N., Zhang Q., Noyelles B. & Baillié K., 2024, *A recently formed ocean inside Saturn's moon Mimas*, *Nature*, 626, 280-282



Mimas photographié par Voyager 2 - Image NASA

Contact :
 Institut UTINAM
 Observatoire des sciences de l'Univers
 THETA de Franche-Comté
 UFC / CNRS
 Benoît Noyelles
 Tél. +33 (0)3 81 66 69 15
 benoit.noyelles@univ-fcomte.fr

MILIEU HOSPITALIER

AMÉLIORER LA LOGISTIQUE POUR PRODUIRE MOINS DE DÉCHETS MÉDICAUX

Pour des raisons de sécurité sanitaire essentiellement, le recours aux dispositifs médicaux à usage unique s'est généralisé dans le domaine de la santé au début du XXI^e siècle. En Suisse, cette évolution a été guidée par l'ordonnance sur les dispositifs médicaux (ODIM) de 1996. L'adoption de cette pratique donne nécessairement lieu à une augmentation du volume des déchets, une situation qu'un groupe de chercheurs de la Haute Ecole Arc a souhaité mieux cerner, avec le concours d'un hôpital universitaire d'envergure nationale.

« En 2022, l'activité de l'hôpital a généré près de 4 300 tonnes de déchets, ce qui représente environ 12 tonnes chaque jour », raconte Karine Doan, spécialiste de la *Supply Chain Management*, coresponsable à la HE-Arc du projet HOSP-ECO¹. L'ambition est d'optimiser la gestion des dispositifs médicaux et ainsi de réduire la production des déchets, dont près de 60 % sont incinérés, répartis en déchets industriels (48,8 %), médicaux (9,4 %) et chimiques (1,1 %), et 40 % sont valorisés *via* les filières papier / carton, bois, métaux...

Fin 2023, au terme d'enquêtes de terrain menées sur plus d'une année auprès des différents acteurs concernés et de modélisations permettant d'établir une cartographie des flux, l'équipe a rendu son rapport et émis ses recommandations. L'étude montre notamment qu'entre l'achat des dispositifs et l'évacuation des déchets, qui sont à chaque bout de la chaîne des processus bien identifiés,

il n'y a que très peu de visibilité sur le parcours suivi par le matériel. Le constat est à nuancer pour les blocs opératoires, où les stocks sont gérés de manière informatisée ; il est sans équivoque pour les services de soins, où se constituent partout de petits stocks dont on ne sait dire au final par quel service ou pour quels soins ils ont été utilisés. Impossible avec ce schéma de fonctionnement de constituer une base de données en vue de les traiter et de proposer des solutions. Mais d'autres leviers d'action sont possibles. « Un modèle tel que l'analyse du cycle de vie offre par exemple une solution pour évaluer les impacts écologiques réels des déchets médicaux et guider les décisions vers une gestion plus durable. » Le rapport met aussi en évidence la primauté du point de vue financier : les gestionnaires privilégient l'incinération par rapport aux filières de revalorisation, qui recyclent les déchets en toute sécurité mais s'avèrent plus coûteuses. « Le personnel est sensible à la question environnementale, mais dans une structure aussi grande et hiérarchisée, où les cultures métier sont aussi différentes, il est difficile d'échanger des idées. La communication entre les services est une priorité pour pouvoir améliorer la situation. » Et au-delà de la sphère de l'hôpital, les chercheurs soulignent l'intérêt d'impliquer toutes les parties prenantes, les fournisseurs notamment. « Ils sont concernés par le *packaging* des produits aussi bien que par les questions de transport. Ils font déjà des efforts,

et il est important de travailler encore plus avec eux en amont. » Entre pratiques de soins, habitudes de travail, principe de précaution, contraintes techniques et intérêts financiers, les questionnements se posent à différents niveaux de la chaîne avec de potentielles solutions à la clé, qu'une seconde étude pourrait avantageusement explorer.

¹ HOSP-ECO a été mené de façon interdisciplinaire par des chercheurs des domaines gestion, santé et ingénierie de la HE-Arc, qui a financé le projet. Gestion : Karine Doan et Patrick Ischer ; Santé : Olivier Walger et Josepha Girard ; Ingénierie : Stefano Carrino et Alexis Maire.

Contact :
Haute école de gestion Arc
Karine Doan
Tél. +41 (0)32 930 23 36
karine.doan@he-arc.ch

PATRIMOINE ÉCRIT

DONNER UN NOUVEAU SENS AUX DOCUMENTS HISTORIQUES

Depuis des années, les bibliothèques et services d'archives recourent à la numérisation pour assurer la sauvegarde des milliers de documents qu'ils possèdent, et pour mettre ce patrimoine à la disposition de la recherche et du grand public. L'envers de la médaille de cette démarche doublement vertueuse est qu'il peut être facile de se perdre dans ce qui s'apparente aujourd'hui à un véritable *big data* sur le net. C'est pour aider à la consultation et à l'exploitation de ces quantités d'informations qu'est né le projet EMONTAL¹ à l'université de Franche-Comté / CRIT.

Son objectif est la création d'outils fondés sur des méthodes d'analyse du discours et de traitement automatique des langues pour structurer les données et les mettre en lien.

Il n'est ici bien sûr pas question de s'attaquer à l'ensemble de la masse archivistique disponible, mais d'expérimenter de tels outils

sur un corpus particulier : celui de documents imprimés datant des XIX^e et XX^e siècles et concernant la région Bourgogne - Franche-Comté. Le traitement linguistique de ces écrits amène à la réalisation d'interfaces logicielles permettant d'établir des relations entre des personnes ou des lieux, pour retracer un parcours individuel, l'histoire d'une famille ou celle d'une activité commerciale. « Il faut imaginer une sorte de grand réseau social dans lequel une information est reliée à une autre : un nom amène à un lieu de naissance, à une date de mariage, à un métier, à l'exercice d'une fonction, à l'héritage d'une maison... », explique Nicolas Gutehrle, qui réalise sa thèse sur ce projet au CRIT, sous la direction de Iana Atanassova.

« Des points communs géographiques, par exemple des villages dans lesquels on trouve un patronyme particulier, pourront faire l'objet de projections sur une carte. » En définitive, c'est la synthèse d'un sujet alimentée par différentes sources que permettent d'élaborer les outils, une synthèse qui est également une porte d'entrée vers les archives elles-mêmes : il est possible de les consulter pour vérifier



¹ Extraction et modélisation ontologique des acteurs et lieux pour la valorisation du patrimoine de Bourgogne - Franche-Comté. Le contrat doctoral lié à ce projet a été financé par la Région Bourgogne - Franche-Comté.

des données ou pour approfondir la recherche documentaire. Le corpus est composé de textes issus de registres paroissiaux, de journaux d'information de diverses sensibilités politiques, de revues à visée scientifique, passant d'une présentation sous forme de pages entières à une disposition en colonnes, d'un niveau de langage soutenu à un style familier, voire télégraphique. Un vrai problème, même pour les logiciels d'analyse textuelle : les documents nécessitent un prétraitement pour pouvoir être décortiqués

par eux, un travail qui a demandé près d'un an de sa thèse au jeune chercheur.

« L'approche linguistique développée au CRIT repose sur l'étude du lexique et de la syntaxe, sur la détection de motifs représentés par des mots ou groupes de mots d'intérêt, qui peuvent ensuite être collectés de manière automatique. L'intérêt de ce procédé est que tout ce qui en découle a du sens, tout est interprétable. »

À la veille de la soutenance de thèse de Nicolas Gutehrlé, les méthodes sont prêtes et à la

disposition de la communauté scientifique ; si quelques prototypes de logiciels ont vu le jour, les interfaces donnant la pleine mesure des possibilités offertes pour la mise en valeur du patrimoine régional nécessiteront, quant à elles, de nouveaux développements.

Contact :
Centre de recherches interdisciplinaires
et transculturelles – CRIT
Université de Franche-Comté
Nicolas Gutehrlé
Tél. +33 (0)3 81 66 53 95
nicolas.gutehrle@univ-fcomte.fr

AU NOM DE LA LOI

L'IVG À L'ÉCHELON LE PLUS HAUT DU DROIT FRANÇAIS

Le 8 mars, journée internationale des droits des femmes, a été marqué cette année par la promulgation du droit à l'avortement dans la Constitution française. Que change cette décision, près de 50 ans après la loi Veil ? Pour Henri Bouillon, qui a codirigé l'an dernier l'ouvrage *Les grandes lois de la V^e République*, « d'un point de vue technique, inscrire le droit à l'IVG dans la Constitution n'est pas d'un apport fondamental par rapport à la loi. Mais l'acte a une réelle portée symbolique, car la Constitution est le plus important des textes juridiques ».

Spécialiste de droit public à l'université de Franche-Comté, Henri Bouillon précise ainsi que « consacrer le droit à l'avortement dans la Constitution empêche qu'il puisse être remis en cause dans la loi ». La décision du gouvernement français intervient en réaction à celle de la Cour suprême des États-Unis : depuis le 24 juin 2022, le droit à l'IVG n'est en effet plus protégé au

niveau national dans ce pays, il est désormais du ressort de chacun des États américains. En France, la loi dépénalise deux types d'avortement : l'interruption volontaire de grossesse (IVG), objet de la révision de la Constitution de 2024, et l'interruption médicale de grossesse (IMG), à laquelle il n'est pas fait référence dans ce cadre. La loi Veil sur l'IVG

a connu plusieurs amendements dont le dernier en date, en 2022, a fait passer le délai légal de recours à un avortement à 14 semaines de gestation. L'inscription de « la liberté garantie à la femme d'avoir recours à une interruption volontaire de grossesse » dans la Constitution se pose comme un véritable droit, quand à son entrée en vigueur en 1975, la loi envisageait l'avortement comme



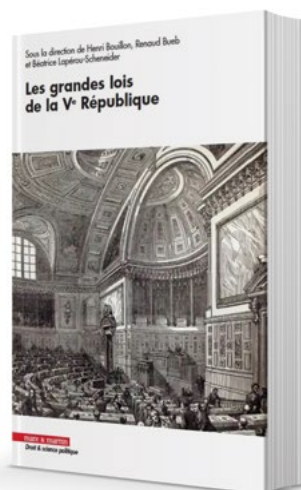
un dernier recours en cas de « détresse de la femme ». « Cette distinction d'ordre moral n'avait pas d'incidence d'un point de vue juridique, la dépenalisation de l'IVG était bien actée. » La loi constitutionnelle ne remet pas en cause la clause de conscience autorisant les médecins ou les infirmières opposés à l'avortement à refuser de pratiquer cet acte. Le droit à l'IVG reste par ailleurs soumis à des conditions d'accès aux soins parfois difficiles, une problématique à part entière et hors du champ du droit.

Loi marquante de la V^e République, l'IVG est aussi inscrite au

sommaire de l'ouvrage codirigé par Henri Bouillon, aux côtés de la loi sur l'interdiction des signes religieux à l'école (2004), deux sujets qu'il a lui-même traités

dans ce livre, ou celle sur la responsabilité pénale des entreprises (1992), qui fait l'objet d'un chapitre rédigé par sa collègue du CRJFC, Béatrice Lapérou-Schneider. Figurent également, et entre autres dans ses pages, les lois sur le mariage pour tous (2013),

les renseignements et les services secrets (2015), la suppression du service militaire (1997), ou encore l'abolition de la peine de mort (1981), qui a elle aussi fait



son entrée dans la Constitution, en 2007. Des sujets très variés pour un livre qui ne prétend pas à l'exhaustivité, mais dont l'ambition est d'opérer un retour sur la genèse de lois à l'impact juridique ou médiatique fort. « Il s'agit de cerner l'intention en se replongeant dans les textes d'époque, de confronter les ambitions énoncées dans les débats parlementaires avec la portée réelle des lois. » Une démarche originale, à visée des spécialistes comme du grand public. Sous la direction de Henri Bouillon, Renaud Bueb et Béatrice Lapérou-Schneider, *Les grandes lois de la V^e République* est paru aux éditions Mare & Martin en 2023.

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

LES 24 HEURES DU TEMPS

PETITES DIMENSIONS ET GRANDES INNOVATIONS DANS L'ARC JURASSIEN

Pour leur 10^e anniversaire, les 24 heures du temps se placent sous le signe de l'innovation. Organisé à Besançon les 22 et 23 juin prochains, l'événement promet des moments ludiques autant qu'instructifs sur la mesure du temps, depuis les chefs d'œuvre mécaniques de l'horlogerie traditionnelle jusqu'aux horloges atomiques époustouflantes d'exactitude du temps-fréquence. Ces domaines sont tous deux inscrits dans l'ADN de l'Arc jurassien franco-suisse, tout comme les microtechniques auxquelles ils sont intimement liés, et qui concernent un large éventail d'applications.

Le rendez-vous proposé par Grand Besançon métropole met les savoir-faire bisontins et neuchâtelois à l'honneur ; des chercheurs proposeront animations et démonstrations dans un village de l'innovation où vont se côtoyer, entre autres, une célèbre micromaison de silice perchée sur une fibre optique et grossie mille fois pour mieux se faire admirer, une horloge atomique proposant de se mesurer à elle *via* une borne d'arcade, et un système reproduisant l'éphémère pont de Tacoma pour élucider les raisons de son effondrement. Autant de supports pour expliquer les systèmes vibratoires, les ondes

acoustiques ou les phénomènes optiques, tout en faisant participer le public à des expériences. Pour en savoir plus : www.les24hdutemps.fr.

Gaetano Mileti, directeur adjoint du laboratoire Temps-fréquence de l'université de Neuchâtel, et Sébastien Thibaud, responsable de la plateforme MIFHySTO à Besançon, interviendront lors de cette édition des 24 heures du temps ; côté recherche, leurs travaux témoignent des avancées majeures de tout un territoire, comme l'illustrent leurs projets les plus récents, à la page suivante...

HORLOGES DE VOLUMES (TRÈS) RÉDUITS

Un cube d'un cm de côté, c'est facile à se représenter, c'est la taille d'un dé à jouer. Plus difficile à imaginer, cela peut aussi être le volume... d'une horloge atomique ! C'est pourtant bien cette prouesse technologique que les chercheurs du Laboratoire Temps-fréquence (LTF) de l'université de Neuchâtel ont réalisée.

D'une exactitude sans équivalent dans le domaine de la métrologie, les horloges atomiques assurent la mesure du temps, et se sont pour cela substituées à l'observation ancestrale de la rotation de la Terre : depuis 1967, c'est l'atome de césium qui indique le temps et le coordonne à l'échelle internationale. Partant de cette fonction première, les horloges atomiques sont utiles à deux domaines d'application essentiels : les télécommunications, et le positionnement et la navigation par satellite. Installées au sol ou mises en orbite autour de la planète, elles convoquent dans leurs développements successifs d'autres atomes que le césium et la mise en œuvre de différentes technologies, pour gagner toujours plus en exactitude ou en volume. Réduire la consommation des horloges, et donc alléger les équipements fournissant l'énergie nécessaire à leur fonctionnement, est une priorité pour le spatial.

Utilisant de façon innovante certains procédés de microfabrication, l'horloge miniature mise au point au LTF répond à cette exigence.

De dimensions mille fois inférieures aux plus petites des horloges compactes actuellement hébergées à bord des satellites de navigation de type Galileo, sa puissance est inférieure à un watt, soit dix fois moins que la leur. « Après plus de quinze ans de travaux et un dernier programme, financé par l'Agence spatiale européenne et qui vient de se clore, notre recherche est désormais mature ; elle est prête pour un transfert vers l'industrie », explique Gaetano Mileti. L'horloge miniature du LTF pourrait ainsi être candidate pour équiper des satellites de navigation spécifiquement conçus pour des missions à venir sur la Lune.

« Son exactitude, de l'ordre du dixième de microseconde, qui est dix fois plus exigeante que celle requise pour les télécommunications, serait suffisante pour ce type d'application spatiale », précise Gaetano Mileti.

LES HORLOGES DU LTF DANS L'ESPACE

Ce ne serait pas une première pour le Temps-fréquence neuchâtelois, dont les travaux ont donné naissance aux deux horloges atomiques équipant les satellites Galileo. Dans ce dernier cas, l'unité de référence est la nanoseconde, une stabilité cent fois supérieure. C'est à cette échelle infime que s'inscrit un projet mené avec l'université de Strathclyde à Glasgow, en Écosse, qui pourrait fournir de nouvelles options pour le système de navigation européen.

La technologie développée ici est celle des atomes refroidis par laser,

qui confère des performances exceptionnelles à une horloge en termes de stabilité. Lorsque les atomes évoluent dans une cellule chauffée, leur vitesse est rapide et les collisions sont fréquentes. Leur refroidissement permet de ralentir leur course et les effets de leur environnement, pour une résonance atomique plus propre, plus stable, et donc une horloge plus exacte.

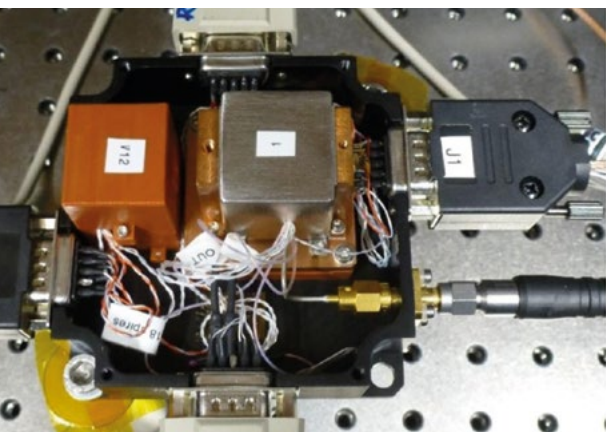
Le refroidissement est traditionnellement assuré par l'action de plusieurs lasers. Les chercheurs de Glasgow sont aujourd'hui les premiers à n'utiliser qu'un seul laser pour s'approcher du zéro absolu ($-273,15^{\circ}\text{C}$), cette limite physique à laquelle l'agitation thermique des atomes est réduite au minimum. « L'association des technologies respectivement maîtrisées par nos équipes donne la possibilité de construire une horloge à atomes froids très compacte, dont les performances sont comparables à celles des grandes. »

Un premier démonstrateur en a apporté la preuve de concept ; un prototype intégrant tous les composants de l'horloge devrait marquer une nouvelle étape de ce projet financé, lui aussi, par l'Agence spatiale européenne.

RENDEZ-VOUS PROFESSIONNELS

Près de 400 participants du monde entier sont attendus du 25 au 27 juin à Neuchâtel pour le Forum européen temps-fréquence, une des conférences les plus importantes du domaine. D'envergure internationale et dépassant désormais les limites géographiques de l'Arc jurassien pour son organisation, ce forum a été fondé en 1987 par la Fondation suisse pour la recherche en microtechniques (FSRM) et la Société française des microtechniques et de chronométrie (SFMC).

Retour sur les bancs de l'école avec le Séminaire européen temps-fréquence organisé à Besançon du 1^{er} au 5 juillet. Une semaine de formation ponctuée de conférences, de sessions en laboratoire et de visites, proposée par l'Institut FEMTO-ST à l'intention d'un large public, ingénieurs, doctorants, jeunes scientifiques...



Prototype d'horloge miniature - Photo LTF - UniNE

MICROBALLON DE FOOT

À SUPMICROTECH où sont abrités des équipements de la plateforme MIFHySTO¹, les projets font des allers-retours permanents entre recherche, innovation et enseignement. L'un des derniers en date est l'usinage d'un ballon de foot, dont il est peu de dire que ses dimensions sont réduites : avec un diamètre de 4 mm, le ballon 2024 bat le record établi par la première version élaborée à l'occasion de la Coupe du monde 2018, qui représentait déjà un exploit avec ses 6 mm de diamètre. Sur l'un comme sur l'autre, il ne manque aucune des 32 facettes réglementaires, réalisées à l'échelle dans deux teintes de métal pour ajouter à la fidélité de reproduction de l'emblématique ballon rond.

UNE CARTE DE VISITE SIGNÉE MIFHYSTO

Cette réalisation est une démonstration ludique des capacités de la plateforme MIFHySTO, un dispositif unique en France pour la réalisation de composants de dimensions inférieures au millimètre, avec une précision d'exécution de l'ordre du micromètre. Usinage, décolletage, fraisage, moulage, fonctionnalisation de surfaces, impression 3D, métrologie, traitements de surface par voie humide ou voie sèche, toutes ces opérations sont assurées à l'échelle micro à MIFHySTO, assorties des étapes nécessaires de caractérisation et de contrôle. Le travail des chercheurs, ingénieurs et techniciens s'oriente en outre vers des matériaux innovants susceptibles de répondre aux attentes actuelles en matière de protection de la santé et de l'environnement. La plateforme représente

le domaine microtechnique à son plus haut niveau de performance, grâce à des équipements et savoir-faire qu'elle rend disponibles pour la recherche, l'enseignement et l'industrie.

L'horlogerie est donc loin d'être le seul domaine d'application des microtechniques. Mais la connexion historique entre les deux est bien sûr toujours d'actualité. D'où ce sujet proposé par Sébastien Thibaud, traité par cinq de ses élèves ingénieurs du parcours Ingénierie micromécanique (IMM) :

« Imaginer un mouvement horloger pour lequel ce sont les ballons de foot miniatures qui donnent l'indication des heures et des minutes ». Un pari remporté avec un design très novateur : un ballon tourne autour de la lunette de la montre pour indiquer les minutes, un autre monté sur une tige au centre indique les heures. Emportés par leur enthousiasme, les étudiants ont réalisé l'habillage de la montre et notamment un cadran en marqueterie, dont l'alternance des essences de bois symbolise les bandes d'un terrain de foot. Ils ont aussi créé son écrin : élaboré en impression 3D, c'est une réplique en résine du stade de Manchester United ! Un système électronique placé au centre permet de l'illuminer pour mettre la montre en vedette... Les projets étudiants fourmillent, toujours adossés à la recherche, et en grande majorité menés en lien avec des industriels, par le biais d'une mini entreprise faisant partie intégrante de la formation IMM. Parmi les plus récents ou en cours : une pendulette de voiture, pour laquelle l'énergie est fournie par les vibrations et accélérations du véhicule, électrique bien sûr ; une microcourroie, copie miniature du design d'une chaîne de vélo et



Les microballons de foot de 4 mm de diamètre indiquent les heures et les minutes sur cette montre réalisée par les étudiants IMM de SUPMICROTECH.

¹ Née en 2011, la plateforme MIFHySTO est implantée sur les sites de l'université de Franche-Comté, de SUPMICROTECH et de l'UTBM. L'Institut FEMTO-ST, l'Institut UTINAM et le LERMPS, aujourd'hui intégré au Laboratoire interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB), sont à l'origine de sa création.

opérationnelle de la même façon ; enfin une étude de ce qui se passe à l'intérieur d'un bouchon en liège serti dans une bouteille de vin, grâce à la capacité d'un micro-nanotomographe de visualiser, en volume, la structure interne de pièces ou de matériaux, sans les dégrader.

« Formés à son contact, les futurs ingénieurs seront à même de relayer auprès de l'industrie les possibilités qu'offre la plateforme MIFHySTO pour des applications à l'échelle du micromètre », souligne Sébastien Thibaud.

Contacts :
Institut de physique
Laboratoire Temps-fréquence – LTF
Université de Neuchâtel
Gaetano Mileti
Tél. +41 (0)32 718 34 82
gaetano.mileti@unine.ch

Institut FEMTO-ST
Département Mécanique Appliquée
UFC / SUPMICROTECH / UTBM / CNRS
Sébastien Thibaud
Tél. +33 (0)3 81 66 66 11
sebastien.thibaud@ens2m.fr

PUBLICATION

LA FRANCHE-COMTÉ
DES HABSBOURG, DE A À Z

En 1493, Philippe le Beau, père de Charles Quint, règne sur le comté de Bourgogne.

La future Franche-Comté sera annexée par Louis XIV en 1678, date à laquelle elle devient définitivement française.

1493-1678.
Entre ces
deux bornes
historiques,
pendant près de
deux cents ans,
la puissante
maison
des Habsbourg est
aux commandes
de la Comté,
province alors
rattachée aux
Pays-Bas

Entre ces deux bornes historiques, pendant près de deux cents ans, la puissante maison des Habsbourg est aux commandes de la Comté, province alors rattachée aux Pays-Bas. Une période de l'histoire peu étudiée, jusqu'à ce que Paul Delsalle en fasse sa spécialité de recherche à l'uFC / laboratoire Chrono-environnement.

Au terme de trente années d'étude des archives et du patrimoine subsistant de cette époque, et d'analyses éclairantes, l'historien publie aux éditions Cêtre une synthèse des connaissances acquises sous la forme d'un dictionnaire, dont le troisième et dernier tome vient de paraître.

Après *Les personnages* et *Les matières*, c'est

donc avec *Les lieux* que ce volume vient clore le *Dictionnaire historique de la Franche-Comté sous les Habsbourg*, qui a également reçu la contribution de chercheurs et étudiants en histoire, histoire de l'art, archéologie ou littérature, ainsi que d'archivistes ou encore de bibliothécaires.

Trois volumes pour faire revivre deux siècles d'histoire de la Franche-Comté, et qui racontent...

Les personnages

... Les Montaigu, orfèvres à Besançon sur plusieurs générations ; les familles de sculpteurs Lulier, dont les fontaines et tombeaux existent toujours, et Landry, dont il ne reste plus que des témoignages écrits pour parler de leur talent ; les puissants seigneurs de Vergy, pourtant si peu connus aujourd'hui ; le médecin Dorenet et son ouvrage pour aider à gérer l'épidémie de peste, imprimé aux frais de la commune de Dole ; Gilles Garnier, accusé d'être un loup-garou et l'auteur de plusieurs meurtres, conduit au bûcher sur décision du parlement de Dole ; les Saint-Mauris de la vallée du Dessoubre et leur engagement militaire ; Jehanne Meur de Soif, ouvrière à Salins, spécialisée comme les nombreuses autres femmes employées dans les salines, et qui savait lire et écrire...

Les matières

... La « pierre d'asile » d'Ornans, une colonne en pierre toujours visible, qui donnait le droit d'asile à l'auteur d'un meurtre s'il parvenait à la toucher avant d'être arrêté ; le baptême d'un enfant, dont le prénom était choisi par le parrain ou la marraine et non par ses parents ; l'importante consommation de harengs salés ou fumés, prélevés sur des convois en provenance de la Manche ou de la mer du Nord ; la guerre de Trente ans – une dizaine d'années en vérité sur le territoire comtois – au cours de

laquelle 60 % de la population comtoise fut massacrée et de nombreux bourgs et villages réduits en cendres ; la route des Postes, qui assurait une liaison rapide entre les instances des Pays-Bas et les deux centres administratifs de la Comté qu'étaient Dole et Gray ; la Franche-Comté soi-disant « espagnole », qui n'avait de lien avec l'Espagne que sur le papier...

Les lieux

...Baume-les-Nonnes, aujourd'hui Baume-les-Dames, dont le nom d'alors « souligne l'importance majeure de l'abbaye féminine dans cette petite ville » ; Besançon, ville impériale enclavée dans la Comté, dont il y a tant à dire mais qu'aucune thèse n'a jamais étudiée ; le Doubs, que seul franchissait dans la cité le pont de Battant jadis édifié par les Romains ; Bruxelles, capitale des Pays-Bas où se prenaient les décisions pour la province, et qui comptait elle aussi un palais Granvelle, jusqu'à sa destruction en 1930...

« Le volume consacré aux lieux mentionne toutes les villes de Franche-Comté, au sens où on l'entendait alors : des localités entourées de remparts et ayant des franchises, qui donnaient aux habitants le statut de bourgeois ; le nombre d'habitants ne rentrait pas en ligne de compte », explique Paul Delsalle.

De même que les villes, les bourgs, abbayes, commanderies et tout endroit où un événement marquant a pu se produire sont répertoriés dans les pages du troisième tome et identifiés dans un atlas qui permet de les localiser facilement. Comme certains noms de famille ou mots liés à des activités, les appellations géographiques seront sans doute familières aux lecteurs ; les curieux d'histoire

découvriront de nouvelles façons de les lire ou de les interpréter. Chacun des tomes du dictionnaire est relié et imprimé sur un papier bouffant crème, de belles finitions en harmonie avec le propos historique et la période évoquée.

« Une ville était à l'époque une localité entourée de remparts, ayant des franchises qui donnaient aux habitants le statut de bourgeois ; le nombre d'habitants ne rentrait pas en ligne de compte »



Delsalle P. (dir.), *Dictionnaire historique de la Franche-Comté sous les Habsbourg*, Éditions Cêtre, 2024 (tome 3)



Le passage des énergies fossiles aux énergies renouvelables en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre est une problématique complexe qui appelle au pragmatisme...

CASSE-TÊTE [MONDIAL]

TRANSITION ÉNERGÉTIQUE : LE RISQUE ZÉRO N'EXISTE PAS

« On oublie très vite une situation de crise dès lors qu'elle est passée et on ne mesure pas assez les risques auxquels nous sommes exposés. Il est absolument nécessaire de regarder à long terme »

En 2011, la catastrophe de Fukushima remettait de façon dramatique le risque nucléaire au cœur des débats sur la transition énergétique. En mai 2017, une votation populaire en Suisse acceptait à une large majorité des votes, plus de 58 %, la nouvelle loi sur la stratégie énergétique du pays à l'horizon 2050, prévoyant qu'à cette échéance, les cinq centrales nucléaires suisses soient fermées – c'est le cas depuis pour l'une d'elles – et interdisant la construction de toute nouvelle centrale. En 2022, la guerre en Ukraine et ses répercussions sur les approvisionnements bouleversait la réflexion, imposant l'indépendance énergétique au premier rang des priorités. L'inquiétude était dans le même temps renforcée en France avec la chute de la production électrique du pays, essentiellement due à la fermeture de centrales nucléaires pour des questions de maintenance et à une baisse de la production hydroélectrique, le déficit de

précipitations ayant privé d'eau les retenues des barrages. En une dizaine d'années, certaines questions classiquement relatives à la problématique de la transition énergétique étaient ainsi propulsées par l'actualité sur le devant de la scène politique et médiatique, donnant à rebattre les cartes d'un jeu décidément bien complexe. Énergies renouvelables mais intermittentes, nucléaire vu comme un spectre effrayant mais garant d'une électricité peu chère et décarbonée, éoliennes alimentant copieusement les débats..., comment composer un mix énergétique à la fois efficient et acceptable, avec les options qui s'offrent aux décideurs et aux citoyens pour répondre aux enjeux de la transition ?

RÉALITÉS DE TERRAIN

Pour Mehdi Farsi, spécialiste en économie de l'énergie à l'université de Neuchâtel, si la diversification est indispensable,

elle ne saurait se faire sans une source d'énergie à risque : « Il serait extrêmement optimiste de croire qu'avec les politiques actuelles, les énergies renouvelables pourraient se substituer aux autres d'ici 2050. Il faudrait pour cela multiplier leurs capacités de production par dix, c'est un objectif ambitieux à si court terme. Pendant la période de transition, on est obligé d'avoir une source d'énergie comportant une part de risque, la question étant de savoir quelle menace les citoyens sont le plus à même d'accepter ». L'insécurité avec le nucléaire ? L'impact environnemental avec le charbon ? La dépendance énergétique avec le gaz naturel ?... Mehdi Farsi explique que le risque de pénurie ou d'envolée des prix de l'énergie n'est pas seulement d'ordre géopolitique, mais qu'il réside aussi dans les variations de la consommation. « La demande en énergie échappe au contrôle. Elle croît en cas d'hivers froids en Europe, d'augmentation de la production automobile en Chine, ou encore de progression de l'activité industrielle dans un pays en voie de développement. Parallèlement, l'offre est de moins en moins sensible aux prix ; l'augmentation de la demande implique une hausse du prix du pétrole, ce qui entraîne celle des prix du gaz et même du bois, parce que ces énergies sont alors plus demandées. Pour casser cette chaîne, le renouvelable est une réponse, encore faut-il que tout soit prêt, y compris les équipements des ménages et des entreprises. » En attendant, et malgré les réticences, voire les franches oppositions, le nucléaire apparaît une réponse transitoire appropriée pour nombre de spécialistes. Lors d'un café scientifique¹ organisé par l'université de Neuchâtel l'an dernier, où était pesé le pour et

le contre, certains participants relevaient l'intérêt de bénéficier de l'électricité bon marché fournie par des centrales ayant aujourd'hui atteint leur plein niveau de rentabilité en Suisse, et dont la sécurité de fonctionnement est assurée, en attendant la mise en place de nouvelles options. La dépendance que suppose cependant l'approvisionnement en uranium, en grande partie en provenance de Russie, serait atténuée par le fait que très peu de minerai est nécessaire pour produire de grandes quantités d'électricité, et parce qu'on pourrait, en Europe, s'approprier davantage la technologie de l'enrichissement de l'uranium : pour les experts, le nucléaire ne représente pas autant de dépendance que le pétrole ou le gaz.


CONSOMMATION ET CONTRADICTIONS

Du côté de la consommation, Mehdi Farsi souligne le manque de prise de conscience de la part de la population. « Les gens, par exemple, rejettent l'éolien autant que le nucléaire. Ils sont d'accord sur le principe, mais contre dans la pratique, ils ne veulent pas d'un parc éolien à proximité. C'est une situation qu'on retrouve aussi bien en France qu'en Suisse : on veut tout, le confort, l'absence de risque, la préservation de l'environnement, les paysages intacts, mais c'est beaucoup exiger. » Les enquêtes sur la connaissance énergétique des ménages, que le chercheur mène à l'UniNE depuis dix ans, montrent un manque d'information des citoyens, un constat en partie lié aux contradictions observées. « Même si les mentalités ont évolué à cause de la hausse des prix, on oublie très vite une situation de crise dès lors qu'elle est passée et on ne mesure pas assez les risques

auxquels nous sommes exposés. Il est absolument nécessaire de regarder à long terme. » L'électricité est le vecteur d'énergie à qui on demande de remplacer les énergies fossiles. Aux côtés de l'éolien, du solaire, de l'hydroélectricité et de la biomasse, qui sont les principales énergies renouvelables susceptibles de la fournir dans une perspective durable, y compris sous forme d'hydrogène, la baisse de la consommation est une composante à part entière du mix énergétique. Les enquêtes montrent là encore que les économies d'énergie sont un levier important, mais qu'il ne faut pas tout attendre : « Même si des progrès sont réels, notamment dans l'industrie, l'étude des comportements montre que dans le quotidien des ménages, on n'arrivera pas à diminuer la consommation autant que ce qui est écrit sur le papier ». Et on aurait tort de sous-estimer le contexte dans lequel nous vivons aujourd'hui, toujours plus énergivore : le seul *mining de bitcoin*, processus permettant de créer de nouveaux bitcoins et d'assurer le bon fonctionnement du réseau de la cryptomonnaie, aurait consommé plus d'électricité que la Suède en 2022 (source : Digiconomist / Cointelegraph France, janvier 2023). Et rappelons que si internet était un pays, il serait le troisième plus gros consommateur d'électricité, juste derrière les USA et la Chine...

¹ *Trop vite court-circuitées, nos centrales nucléaires ?* Podcast à réécouter sur le site de l'université de Neuchâtel, www.unine.ch/cafescientifique/home.html.

Contact :
Institut de recherches économiques – IRENE
Université de Neuchâtel
Mehdi Farsi
Tél. +41 (0)32 718 14 50
mehdi.farsi@unine.ch



La filière hydrogène poursuit son développement sur le territoire régional. Des projets de grande envergure, complémentaires, sont engagés en vue de consolider l'offre de formation au niveau national comme à l'échelle européenne, et de répondre ainsi aux besoins d'un domaine en plein essor.

FILIERE [EN CONSTRUCTION]

LA FORMATION HYDROGÈNE MONTE EN PUISSANCE

Il s'agit de donner davantage de structure et de visibilité à l'enseignement, et par là même à la filière hydrogène à laquelle il est adossé

Investi depuis vingt ans dans la recherche sur l'hydrogène, dont il est un promoteur de la première heure, le Nord Franche-Comté accueille plusieurs formations adossées aux activités des laboratoires, à l'UTBM comme à l'uFC. Les deux établissements participent chacun à des projets visant à développer, structurer et coordonner l'offre de formation hydrogène en Europe. La région Bourgogne - Franche-Comté est ainsi représentée dans les deux consortiums européens organisés autour de la problématique : c'est à la fois une reconnaissance de ses savoir-faire, un atout pour le développement de ses territoires et un gage de sa visibilité au niveau international.

HYACADEMY.EU, L'ACADÉMIE EUROPÉENNE DE L'HYDROGÈNE

Ce consortium a pour ambition de créer un « écosystème d'apprentissage », de l'école primaire à la formation continue en entreprise,

de l'Ouest à l'Est de l'Europe, le tout orchestré en neuf langues. « C'est une grande première, remarque Fei Gao, enseignant-chercheur en génie électrique à l'UTBM et pilote du projet¹ pour l'université de technologie comtoise, qui met en avant ces chiffres : « Le dispositif prévoit que plus de cent universités en Europe offrent des diplômes spécialisés et que cinq cents écoles du primaire au lycée intègrent l'hydrogène dans leurs programmes ». Car si la formation aux technologies et aux métiers de l'hydrogène est un objectif de premier plan, il est également important de susciter l'intérêt des plus jeunes et de les familiariser avec ce domaine d'avenir. Pour boucler la boucle, des formations à destination des professionnels permettront de favoriser l'innovation en entreprise. À tous les niveaux et pour assurer l'accessibilité à la formation de tous les apprenants, il est prévu que des matériels et supports de cours soient mis à la disposition des équipes pédagogiques en neuf langues, et que l'enseignement s'accompagne de formules basées

MÉTIERS DE L'HYDROGÈNE : LA FORMATION AU CŒUR D'UN PROJET AMBITIEUX PORTÉ PAR LA RÉGION BOURGOGNE - FRANCHE-COMTÉ

Ouvert à l'université de Franche-Comté dès 2014, le CMI Hydrogène-énergie et efficacité énergétique (H₃E) prépare en cinq ans aux métiers d'ingénieur en production et gestion de l'hydrogène-énergie. À l'UTBM, le mastère spécialisé hydrogène-énergie est une formation de douze mois de niveau Bac+6. Ce sont là deux exemples des formations, souvent pionnières, qui ont vu le jour en Bourgogne - Franche-Comté autour du domaine de l'hydrogène, une offre dont la Région souhaiterait qu'elle soit encore élargie, en lien avec les industriels, l'éducation nationale et tous les acteurs de l'orientation, de la formation et de l'emploi. École, campus, académie, centre..., si le nom définitif est encore sujet à discussion, l'ambition, elle, est arrêtée. La proposition de la Région Bourgogne - Franche-Comté et de ses partenaires vient en réponse à l'appel à manifestation d'intérêt CMA (Compétences et métiers d'avenir). Elle vise à apporter davantage de structure et de visibilité à l'enseignement, avec des parcours de formations de niveau CAP au doctorat (près de 90 formations recensées à ce jour), et par là même à la filière hydrogène à laquelle il est adossé et qui continue de se construire sur le territoire régional, et au-delà à l'échelle nationale et européenne. Vice-président de l'université de Franche-Comté, récemment promu chevalier dans l'Ordre national du mérite pour son engagement et son parcours essentiellement dédiés au développement de l'hydrogène en France, Daniel Hissel est conseiller scientifique de la présidente de Région pour ce projet.

sur les nouvelles technologies de l'information et de la communication, comme les classes inversées ou les MOOC. « L'expérience pratique n'est pas oubliée, elle sera assurée dans cinq centres à la pointe de la technologie et répartis sur l'ensemble du territoire européen. Les équipements et savoir-faire de la plateforme hydrogène-énergie à l'Institut FEMTO-ST sont une force qui permet d'envisager que l'un d'entre eux soit installé dans les locaux de la plateforme à Belfort », explique Fei Gao, qui souligne l'implication de toute une équipe autour du projet HyAcademy.EU.

GREEN SKHY, LA MOBILITÉ POUR MAÎTRE MOT

Toujours à l'échelle européenne, Green SKHy² est centré sur la formation professionnelle et l'enseignement supérieur. Il a pour objectif de développer l'offre existante et de mutualiser les forces présentes sur les territoires. Porteur du projet à l'université de Franche-Comté où il est titulaire d'une chaire de professeur junior, Zhongliang Li mène ses recherches dans le domaine de la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau. « Le projet Green SKHy consiste à définir les grandes lignes d'une carte de for-

mation répondant aux attentes des industriels. Chaque établissement pourra ensuite mettre en place des modules spécifiques, en fonction de critères propres ». La mise en réseau des plateformes techniques est une composante à part entière du projet ; il s'agit de faire venir les étudiants afin qu'ils se forment sur des équipements de pointe et profitent d'expériences scientifiques en cours. La mobilité est un maître mot du projet, comme le prévoit par exemple aussi la tenue d'écoles d'été : organisées en trinôme, ces sessions de formation feront bénéficier les participants des compétences complémentaires de chacun des établissements concernés. L'université de Franche-Comté, dont l'un des points forts est la mise au point de systèmes PAC pour les transports et le stationnaire à l'Institut FEMTO-ST, aura ainsi pour collaborateurs sur ce projet la Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg en Suisse, spécialiste de la sécurité et de la maintenance des systèmes hydrogène, et l'organisme de formation ACE aux Pays-Bas, dont le cœur de métier concerne les véhicules électriques et thermiques. L'organisation d'autres événements est également dans les tiroirs, comme des visites de sites et des forums. « Ouverts à tous, lycéens, étudiants, chercheurs, élus et grand

public, ils seront l'occasion de sensibiliser l'ensemble de la société à la problématique de l'hydrogène », souligne Zhongliang Li.

¹ *Projet financé par la Commission européenne (2024-2028) dans le cadre du programme Horizon Europe. HyAcademy.EU, l'Académie européenne de l'hydrogène, regroupe 15 partenaires en Angleterre, Tchéquie, Italie, Belgique, Roumanie, Irlande du Nord, Bulgarie, France (UTBM), Espagne, Allemagne et aux Pays-Bas. Le projet est piloté par l'université de Birmingham et l'Institut technologique de chimie de Prague, et compte deux partenaires associés, l'un suisse et l'autre bulgare.*

² *Financé par le programme Interreg VI, porté par l'AFPA, Green SKHy (2024-2027) concerne la zone Nord-Ouest de l'Europe et compte 17 partenaires académiques en France (dont l'université de Franche-Comté), Suisse, Luxembourg, Belgique, Irlande et aux Pays-Bas. Une cinquantaine de partenaires, structures institutionnelles et industriels investis dans l'aventure hydrogène, soutiennent en second cercle cette initiative académique.*

Contacts :
Institut FEMTO-ST / Dpt Énergie
Fei Gao
Tél. +33 (0)3 84 58 38 01
fei.gao@utbm.fr

Zhongliang Li
Tél. +33 (0)3 84 58 36 28
zhongliang.li@femto-st.fr

Daniel Hissel
Tél. +33 (0)3 84 58 36 21
daniel.hissel@univ-fcomte.fr



Le virtuel est entré dans nos vies, dans nos activités privées comme professionnelles, au point aujourd'hui de devenir inséparable du réel. À la frontière de la fiction, l'accès à des mondes inconnus ou créés de toutes pièces prend de multiples chemins, et porte en miroir promesses et menaces.

GRAND FORMAT [PRISE DE MESURES]

MONDES PARALLÈLES EN CONSTRUCTION

PASSER D'UN UNIVERS À UN AUTRE, UNE AFFAIRE D'ÉCHELLE

Il n'y a aucune
raison pour
qu'un univers
parallèle soit une
copie du nôtre

L'existence d'*univers* parallèles est souvent invoquée dans les films futuristes, pourtant ce que la science-fiction met en scène s'apparente plutôt à la notion de *réalités* parallèles. Ce n'est pas là un simple caprice de vocabulaire, mais un vrai distinguo scientifique. Dans la science-fiction, les personnages sont des doubles de nous-mêmes et habitent une planète qui ressemble à la Terre. Or il n'y a aucune raison pour qu'un univers parallèle soit une copie du nôtre, parce que les paramètres physiques ne sont pas les mêmes en tout endroit de l'espace-temps. Dans la fiction, de plus, la communication d'un univers à l'autre se produit généralement par l'intermédiaire de trous de ver, qui correspondent en fait à une solution purement mathématique et dont l'existence est improbable à l'échelle astronomique. Les réalités parallèles sont, elles, des déclinaisons d'une même réalité.

Les trous de ver, s'ils n'existent pas à l'échelle astronomique, pourraient se produire à l'échelle de Planck, qui, à 10^{-35} m, est inférieure à celle des particules élémentaires, et bien en dessous de la taille de l'atome

Un exemple simple pour illustrer le concept est celui du fichier informatique, dont l'original est décliné sur un ordinateur en différentes versions, comportant chacune des informations particulières ou supplémentaires. C'est sur ce schéma que sont construits les « univers » de science-fiction : des copies d'un monde connu intégrant des contenus différents, des réalités qui se superposent.

Si la fiction n'a pas vocation à être forcément en conformité avec la science, elle fournit ici l'occasion d'aborder des concepts qui font l'objet des recherches les plus fondamentales pour la compréhension de la mécanique quantique : les fonctionnements à l'échelle de l'atome n'obéissant pas aux mêmes règles que celles de la physique classique, le monde quantique demeure en effet encore mystérieux à bien des points de vue.

Enseignant-chercheur en physique théorique à l'université de Franche-Comté / Institut UTINAM, David Viennot est un spécialiste de ces questions d'ordre quantique, et place ses travaux à mi-chemin entre mathématiques et philosophie : « L'intérêt d'interpréter des équations ou des solutions mathématiques réside pour moi dans la découverte de processus qui permettent d'améliorer la connaissance du monde quantique et de son implication dans la réalité de la nature. » Le chercheur travaille notamment à relier l'interprétation d'Everett, une formulation de la mécanique quantique appliquée à l'Univers, à la théorie *M*, qui étudie les lois de la gravitation quantique et sur laquelle planchent des théoriciens du monde entier. La sphère des recherches se situe ici à l'échelle de Planck : à des dimensions infimes, de l'ordre de 10^{-35} m, c'est en dessous de l'échelle des particules élémentaires, et bien inférieur à la taille de l'atome.

Dans un article publié récemment dans la revue scientifique *Quantum Studies*, David Viennot montre que les trous de ver, s'ils n'existent probablement pas à l'échelle astronomique, pourraient se produire à l'échelle de Planck : « À cette échelle, des fluctuations quantiques de l'espace-temps pourraient générer la formation de paires trou noir / anti trou noir, qui apparaissent et disparaissent en très peu de temps, et donc



la création et l'annulation de trous de ver. Ces canaux de communication donneraient la possibilité de passer d'un univers à un autre pendant... 10^{-43} secondes. » Un processus dont il est peu de dire qu'il serait fugace, mais dont l'existence théorique est un progrès pour la connaissance, et qui permet au passage de nuancer la critique vis-à-vis de la science-fiction : à l'échelle de Planck, il serait possible de passer entre deux univers parallèles par le moyen de trous de ver...

UN AUTRE MONDE SUR TERRE

De retour sur Terre, on peut pointer les immenses possibilités qu'offre la technologie pour entrer dans des univers parallèles : n'a-t-on pas accès en continu à des réalités différentes de la nôtre, ainsi qu'à des mondes virtuels ? Aurait-on pu imaginer de telles éventualités il y a seulement vingt ans ? Enseignant-chercheur en génie électrique à

l'UTBM / département énergie de l'Institut FEMTO-ST, Fei Gao met en évidence que la frontière est ténue entre la réalité et la fiction, en rappelant à titre d'exemple le prodigieux bond en avant de l'aéronautique et du spatial au XX^e siècle : « On ne savait pas ce qu'était un avion à moteur avant 1900, pourtant on est allé jusqu'à marcher sur la Lune en 1969 ! Alors même que voler relevait du domaine de la science-fiction, pouvait-on supposer que soixante ans plus tard, on enverrait un être humain dans l'espace ? Aujourd'hui, on ne sait pas ce qui deviendra réel, quels nouveaux mondes seront accessibles ».

Et si l'espace opère une magie certaine avec ses promesses d'explorations lointaines, le chercheur s'amuse à souligner comment nos attentes et notre regard se sont déplacés du ciel vers le sol : « Nous gardons les yeux baissés sur notre smartphone. Parce que derrière la technologie, ce que contient cette petite fenêtre, c'est le monde ! » Le smartphone nous emmène partout, dans des univers qui finissent par faire partie

intégrante de notre vie ; nous sommes en permanence en contact avec des pays, des personnes, des événements qui existent quelque part et qui virtuellement arrivent jusqu'à nous, tout comme nous pouvons à tout moment entrer dans les fictions que proposent les plateformes de vidéos à la demande. « On a créé un autre monde sur la Terre, un monde numérique qui est aujourd'hui aussi important que le monde réel. Entre les deux, les interactions sont continues. » Ce lien entre monde physique et monde numérique, le chercheur l'explore dans ses travaux sur la conception de jumeaux numériques pour le domaine de l'électronique de puissance, dont il est un spécialiste mondial.

« Alors même que voler relevait du domaine de la science-fiction, pouvait-on supposer que soixante ans plus tard, on enverrait un être humain dans l'espace ? Aujourd'hui, on ne sait pas ce qui deviendra réel »

CRÉER UN JUMEAU NUMÉRIQUE POUR AMÉLIORER LE RÉEL

Branche récente du génie électrique avec des débuts datant des années 1960, l'électronique de puissance connaît un essor considérable sous le coup des effets conjugués d'une forte croissance de la demande en systèmes électriques, des progrès technologiques et des attentes en termes de développement durable ; assurant la conversion de l'énergie électrique et le contrôle de puissances importantes, elle concerne à la fois les réseaux de distribution d'énergie, notamment issue de sources renouvelables, et le développement d'applications nécessitant de fortes puissances, comme les moteurs pour le transport ferroviaire ou la robotique. « L'électronique de puissance est en réalité aujourd'hui présente dans tous les dispositifs électriques, jusqu'à nos téléphones portables ; c'est un élément clé mais caché, sans lequel nous ne pourrions rien avoir », précise Fei Gao. La conception des systèmes est complexe, parce qu'elle implique des processus interdépendants et aux effets



Photo Greg Rakozny sur Unsplash

Un jumeau numérique est plus qu'un simulateur, et plus qu'un clone. Il permet de comprendre ce qui se passe chez son jumeau physique, pour lequel il devient alors possible de prévoir et d'agir

parfois contradictoires, et parce que l'électronique de puissance doit répondre à des injonctions précises en termes de performance, de coût, et de rapidité de mise sur le marché. La création d'un jumeau numérique reproduisant des systèmes complets, de leur conception jusqu'à leur maintenance en passant par les étapes de prototypage et de test, est un moyen d'optimiser l'électronique de puissance dans sa réalité.

S'ils ne portaient pas encore ce nom, les premiers jumeaux numériques sont nés dans les années 1970 sous la forme de simulateurs conçus par la NASA pour assurer la sécurité des astronautes des dernières missions Apollo. Dans le domaine de l'énergie électrique, un jumeau numérique est, selon l'entreprise Siemens, « une représentation virtuelle d'un produit ou d'un processus physique, utilisé pour comprendre et prédire les caractéristiques de performance de son homologue physique ». Cette définition sous-tend qu'un jumeau numérique est plus qu'un simulateur, et plus qu'un clone.

« Un jumeau numérique a le même ADN et obéit aux mêmes principes physiques que son jumeau réel, explique Fei Gao. Mais ses conditions de fonctionnement ne sont pas nécessairement les mêmes, et il peut suivre d'autres développements ». Ce qui précisément lui donne tout son intérêt : un jumeau numérique permet de comprendre ce qui se passe chez son jumeau physique, pour lequel il devient alors possible de prévoir et d'agir : c'est par exemple améliorer une connexion pour accroître la performance du système, anticiper son vieillissement et éviter une panne en remplaçant un composant...

Le virtuel présente l'incroyable avantage de pouvoir gommer l'échelle du temps, de naviguer dans le passé comme de se projeter dans le futur.

« Dans le numérique, tout est gardé en mémoire. On apprend du passé, on comprend le présent, et on peut accélérer les processus pour prédire l'avenir. » Un tour de force que rend possible la formidable puissance de calcul des processeurs informatiques : cette puissance aujourd'hui décuplée, couplée au développement des technologies, est à l'origine de la création de modèles numériques fidèles, nourris de données extrêmement fiables,



Image John Hairn - Pixabay

et de la mise en place d'interactions indispensables entre le jumeau numérique et les systèmes et composants réels, via l'internet des objets (IoT, *Internet of Things*). Des procédés émergeant au plus haut niveau de précision : « L'électronique de puissance correspond à des fréquences de commutation de l'énergie très élevées. On approche aujourd'hui la nanoseconde pour créer un jumeau numérique qui exécute ses fonctions aussi vite, voire plus rapidement, que le système réel. »

L'équipe menée par Fei Gao à l'Institut FEMTO-ST est reconnue pour fournir parmi les meilleurs résultats sur les cinq centres de recherche qui, dans le monde, travaillent à la création de jumeaux numériques pour l'électronique de puissance.

LA DIFFICULTÉ DE VIVRE... DANS LE VIRTUEL

Avez-vous envie de vivre dans l'univers d'Harry Potter ? Dans un pays ou une époque où vous pouvez devenir quelqu'un d'autre ? Où vous pouvez côtoyer à nouveau des êtres disparus ? S'immerger dans la fiction au point qu'elle devienne réelle, c'est une promesse de la réalité virtuelle depuis les années 1990, renouvelée ces dernières années par le concept de métavers : un nouveau monde à portée de casque, un rêve devenant réalité. Le film *Ready Player One* de Steven Spielberg, sorti en 2018, en est la plus célèbre illustration. Le métavers, pour méta-univers, est un univers qui va au-delà de celui que nous connaissons, dont le chercheur en informatique Charles Pérez disait dans le *Journal du net* en septembre 2022 : « Il n'y aura plus l'homme et la technologie, mais l'homme avec et même dans l'univers technologique virtuel. L'immersion sera forte au point de ne plus mentionner les différences entre les deux. L'hybridation sera acquise et deviendra notre nouvelle unité de réalité. »

Le concept de métavers, tel que véhiculé par le géant du web Meta, ex-Facebook, a connu un échec commercial retentissant au tout début des années 2020, après avoir affolé les mondes de la finance et des médias. Sa promesse s'est heurtée à des limites dont la première tient à l'homme lui-même, selon Mathieu Triclot, enseignant-chercheur en philosophie à l'UTBM / équipe RECITS à l'Institut FEMTO-ST. « A-t-on envie de s'engager totalement dans un autre univers ? De se déconnecter en permanence de sa propre réalité ? » questionne le chercheur, qui poursuit : « Que la fiction devienne réalité, c'est un rêve de l'humanité depuis la nuit des temps, et

c'est aussi un cauchemar. Il y a toujours le paradis et l'enfer dans une promesse technologique ». Plonger dans un autre univers par le biais d'un livre, d'un film, d'un jeu vidéo ou d'un spectacle immersif procède d'une démarche volontaire, c'est accéder à la fiction quand on le souhaite. Vivre pleinement dans un monde virtuel suppose la monopolisation de tous ses sens et de renoncer à percevoir son environnement immédiat. « Est-ce qu'on veut des situations d'engagement total tout le temps ? » demande le philosophe, dont la réponse négative transparait dans la question. « On a envie de croire à la fiction et en même temps on sait que c'est faux, ce sont deux injonctions contradictoires. La réalité virtuelle veut défaire ce nœud : on n'aurait plus besoin de faire d'effort pour y accéder, on n'aurait plus besoin d'y croire, on serait dedans. C'est à la fois utopique et cauchemardesque. »

Pour le philosophe, le métavers est une manière de montrer la force de la technique, comme le font aussi le véhicule autonome ou l'intelligence artificielle. « L'idée d'une maîtrise totale des choses est l'une des croyances les plus fortes de la modernité. C'est une vision du monde qui a cours depuis le début du XIX^e siècle, chez ceux qui voient dans l'alliance de la science et de la technique le moteur du progrès humain. »

Mais si la réalité virtuelle offre un panel de possibilités et permet de nombreuses applications, comme dans l'industrie, la culture ou le marketing, l'idée du métavers vendue par les géants de l'informatique et du web est faussée par rapport aux capacités de la technologie. Le rêve se brise sur des considérations très prosaïques, comme la transpiration ou les maux de tête occasionnés par le casque, même le modèle dernier cri d'Apple. Mathieu Triclot voit ainsi l'avenir : « La promesse d'une technique qui peut tout, qui fonctionne seule, va continuer à exister de manière cyclique, comme elle le fait depuis deux siècles, tout en persistant à se heurter aux limites que posent à la fois la réalité de la technologie et le désir de l'homme ».



Image Chetranuc - Pixabay

« Que la fiction devienne réalité, c'est un rêve de l'humanité depuis la nuit des temps, et c'est aussi un cauchemar. Il y a toujours le paradis et l'enfer dans une promesse technologique »

RÉALITÉ VIRTUELLE ET QUESTIONS D'ENVIRONNEMENT

Le virtuel à petites doses, c'est ce que propose Franck Gechter, enseignant-chercheur en intelligence artificielle et réalité virtuelle à l'UTBM / CIAD, avec le développement d'une application logicielle dans le cadre du projet européen Life V-aiR¹. Le temps d'enfiler un casque et vous voilà immergé pour une dizaine de minutes dans un décor de jeu vidéo, plongé dans un univers totalement déconnecté du vôtre. Pas tant que cela en définitive, puisque le but de l'application est de faire prendre conscience des impacts des activités humaines sur l'environnement, et plus précisément sur la qualité de l'air. L'objectif est de trouver et de tester des moyens d'action pour répondre aux enjeux que pose cette problématique. Un défi qui prend les allures d'un jeu grandeur nature : dans leur station virtuelle de mesure de la qualité de l'air, les joueurs peuvent prendre des décisions concernant l'énergie, le résidentiel, les transports, l'industrie et l'agriculture. Une mise en situation crédible, nourrie par les données de l'observation scientifique. Life V-aiR s'adresse aux décideurs politiques par le biais d'un *serious game*, actuellement en phase de test, et au grand public sous la forme d'un *escape game*, dont la version finale est prévue pour juin. L'application est alimentée par des données réelles de terrain, principalement fournies par les associations régio-

nales du réseau Atmo, agréées pour la surveillance de la qualité de l'air. Ce sont notamment des informations sur les particules fines, à l'origine de diagnostics établis au présent et de projections pour le futur. « En donnant la possibilité de prendre des décisions comme dans la réalité et de les tester, l'application permet d'anticiper l'avenir, d'infléchir la prédiction, d'agir sur ce qui va arriver », explique Franck Gechter. Les jeux sont adaptés à la réalité des territoires sur lesquels ils sont diffusés : six régions françaises, dont outre-mer la Martinique, ainsi que les villes de Malaga en Espagne et de Braşov en Roumanie. Les participants au *serious game* gardent des interactions avec leurs collègues restés dans la réalité : l'application privilégie ici le travail d'équipe et la réflexion collective. L'*escape game* procède d'une démarche plus personnelle, avec des indices à trouver dans l'environnement virtuel pour aboutir à une solution. Il est prévu que le projet se termine en 2026, après une année de retours d'ordre sociologique sur les ressentis des usagers et les performances

attendues. Les organisateurs ont fait le pari d'une formule plus impactante que la simple diffusion d'informations, d'une démarche active et participative plutôt que passive, et de l'attrait qu'exercent les nouvelles technologies : une expérience innovante pour sensibiliser, à laquelle 1400 décideurs politiques et 12000 citoyens auront été conviés sur la durée du projet.

¹ Les associations Atmo Grand Est (pilote), Bourgogne - Franche-Comté, Hauts-de-France, Nouvelle-Aquitaine et Normandie, l'association Madinair en Martinique, l'organisation non gouvernementale roumaine ABMEE, l'université de Malaga (Espagne), l'université Bourgogne - Franche-Comté (laboratoire CIAD et équipe RÉCITS de l'Institut FEMTO-ST) sont les partenaires du projet LIFE V-aiR (2022-2026), dont le budget, s'élevant à 1,3 million d'euros, est cofinancé par le programme européen LIFE.



LES NOUVELLES FRONTIÈRES DU DROIT

Quand la technologie progresse, le droit et l'éthique font aussi mouvement... C'est pour favoriser les collaborations entre le droit et l'informatique que Florence Guillaume et Pascal Felber, dont ce sont les domaines d'enseignement et de recherche respectifs, ont fondé le LexTech Institute à l'université de Neuchâtel. Preuve de l'intrication disciplinaire des questionnements actuels, leurs équipes ont été rejointes par des collègues de différentes facultés depuis la création fin 2020 de cette structure transverse, qui rassemble aujourd'hui une centaine de chercheurs de l'*alma mater* neuchâteloise. Fort de ce

Le code
informatique
devrait-il
l'emporter sur
le code civil ?

Ce sont des algorithmes qui se chargent de régler les litiges les plus simples



¹ Non-fungible token, ou jeton non fongible : objet informatique unique et identifiable, stocké sur une blockchain, à la valeur certifiée. La valeur des NFT est pour l'instant essentiellement spéculative.

La résolution des litiges dans les environnements virtuels sont au cœur des actualités du LexTech Institute, avec deux conférences organisées à l'université de Neuchâtel, l'une sur la résolution des litiges dans l'eSport, le 30 mai, l'autre concernant les mécanismes de résolution des litiges sur les plateformes de médias sociaux, le 31 mai. Pour en savoir plus : www.lextechinstitute.ch

succès, le LexTech Institute s'est structuré en huit laboratoires : systèmes décentralisés, *blockchain* ; justice numérique ; droit des personnes dans le numérique et droit des personnes numériques ; propriété intellectuelle liée aux productions de l'humain, des robots ou de l'intelligence artificielle ; économie numérique, relations entre les plateformes ; production et diffusion des savoirs ; *big data* ; transformation numérique des sociétés.

Florence Guillaume souligne que, par définition, les environnements virtuels ou les métavers se développent dans le numérique, et que par conséquent ils ne sont pas attachés à un territoire, à un pays. Comment dans ce cas appliquer des lois nationales pour régler les litiges qui ne manquent pas de survenir dans les domaines de la finance, du commerce, de l'art, pour ne citer qu'eux ?

« La localisation des internautes et de leurs actes survenus dans le métavers est la plus grande difficulté à résoudre pour décider de la légitimité d'un pays à appliquer ses règles de droit. » Entre les avatars et les pseudos, retrouver l'identité humaine d'un joueur, par exemple, relève du défi, et savoir où il se trouvait au moment de faits répréhensibles (chez lui ? ailleurs, en vacances à l'étranger ?) devient une gageure. Dans un autre cas de figure, un artiste qui avait apporté sa patte créatrice à des sacs Hermès en réalisant une centaine d'œuvres d'art vendues sous forme de NFTs¹ pour une valeur d'un million de dollars, s'est vu condamné pour contrefaçon par un tribunal à New-York, qui a estimé que la protection des produits physiques valait aussi pour les biens virtuels. « La décision ne crée pas pour autant de précédent juridique, le même cas pourrait être jugé différemment par un tribunal en Suisse, en France, ou ailleurs aux États-Unis. »

Alors comment résoudre le casse-tête ? Le juriste américain Lawrence Lessig suggérait en 1999 que les mondes virtuels puissent s'autoréglementer, que le code informatique devait l'emporter sur le code civil. « *Code is law* », le code est la loi : une proposition intéressante, mais qui pose la question du pouvoir des plateformes, dont le fonctionnement pourrait alors s'apparenter à celui d'un État. Florence Guillaume relève que « les plateformes sont comparables à des territoires, elles ont une vaste population, les utilisateurs, et disposent parfois même de leur monnaie. Si elles devaient de plus créer leurs propres règles et avoir le pouvoir de sanctionner leur application, alors cela signifierait qu'elles fonctionneraient comme un État. Le pouvoir des plateformes virtuelles, et donc des entreprises privées, pourrait prendre le pas sur celui des vrais États. »

Adopter des réglementations susceptibles d'être implémentées dans les codes informatiques relève aujourd'hui d'un rapport de force entre les États et les grandes plateformes. C'est un défi de tous les jours pour les juristes, qui sont nombreux à travailler sur ces questions. Aux problèmes soulevés par l'élaboration de règles adaptées à l'environnement numérique et l'identification des tribunaux compétents pour juger de leur application, s'ajoute la difficulté, immense, à traiter les litiges. Le volume de différends, contestations et autres affaires entre utilisateurs du numérique est tellement considérable que le recours à l'intelligence artificielle est devenu indispensable pour assurer cette tâche : ce sont des algorithmes qui se chargent de régler les cas de figure les plus simples, avant que l'homme prenne le relais lorsque les controverses deviennent plus difficiles à résoudre. « La technologie se développe très rapidement et les règles de droit évoluent sur la base d'initiatives multiples, c'est un contexte obligeant de façon inédite les juristes à se pencher en permanence sur ces questions, pour accompagner la transformation numérique de notre société. »



ATTENTION DANGERS !

Dans une conférence qu'il donnait l'an dernier à l'université ouverte, Ioan Roxin, enseignant-chercheur en technologies de l'information et de la communication (uFC / laboratoire ELLIADD) rappelait l'anxiété de nombreux États devant le développement du cyberspace, qui, autorisant des communications et échanges parallèles de toute nature à l'échelle de la planète, est considéré par eux comme une « menace pour la sécurité et les intérêts de la nation ». Les MAAMA, ex-GAFAM, ces géants américains que sont Meta (ex-Facebook), Alphabet (ex-Google), Amazon, Microsoft et Apple, impliqués au premier plan dans le développement des technologies et du web, sont plus puissants que les États, dont le PIB de certains atteint à peine leurs moyens financiers. Mais le web 2.0 d'aujourd'hui pourrait à l'avenir être remplacé par une version 3.0, à l'architecture décentralisée, fondée sur la technologie de la *blockchain*, et dans lequel les plateformes n'auraient plus lieu d'être : une nouvelle donne susceptible de faire reculer le pouvoir des MAAMA.

Ioan Roxin attire l'attention sur les dangers que représente aussi le monde virtuel pour les individus, en revenant sur les possibilités qu'il offre. Si le cybermonde est un espace virtuel créé par les systèmes informatiques et investi par les internautes, le concept de métavers va plus loin en ce sens qu'il inclut la notion de persistance : « Ce n'est pas seulement une immersion, on y

retrouve ce qu'on a construit avant ; il suppose de plus une interconnectivité entre plusieurs mondes ».

Pour le chercheur, *le* métavers n'existe pas, le concept se décline nécessairement au pluriel. « Les fonctionnalités sont pour l'instant limitées et les applications ciblées, comme dans l'éducation ou le marketing, avec par exemple la création d'univers virtuels par des sociétés de mode. » Et la technologie a encore du chemin à faire, avec des casques qui ne donnent pas toute satisfaction, et qui, même si les modèles s'allègent, restent plus que contraignants. Demain ils pourraient être remplacés par des lunettes, voire par des puces implantées dans le cerveau...

En attendant, Ioan Roxin insiste sur les méfaits sociaux que peuvent impliquer le cybermonde et les métavers : isolation sociale, dépendance, développement de comportements compulsifs, discrimination en ligne, défaillances dans la protection des données. « Naviguer dans le virtuel peut aussi amener à une déformation de la réalité, à une altération des perceptions. »

Un risque que le chercheur baptise *métaverisme*, par analogie avec le bovarisme, cet état d'insatisfaction caractéristique de l'héroïne de Flaubert, Emma Bovary. « Je propose le néologisme *métaverisme* pour décrire un comportement spécifique à l'utilisation excessive de la technologie, en particulier des jeux vidéo, de la réalité virtuelle et des métavers. Il s'agit d'une préférence pour la vie virtuelle plutôt que pour la vie réelle, ainsi qu'une dépendance aux technologies numériques. Les personnes atteintes de métaverisme se sentiraient plus à l'aise dans les mondes virtuels que dans le monde réel, et passeraient de longues heures à jouer à des jeux vidéo, explorer des métavers ou interagir avec des avatars. Le métaverisme pourrait être considéré comme un comportement susceptible de conduire à la frustration, à la dépression et à la désillusion, car les personnes qui s'immergent trop dans les mondes virtuels peuvent se retrouver déconnectées de la réalité et de la société. » Virtuel et réel, promesses et menaces..., l'OASIS de *Ready Player One* serait-elle une terre promise ou une illusion ?

Contacts :

Institut UTINAM
UFC / CNRS
David Viennot
Tél. +33 (0)3 81 66 69 16
david.viennot@obs-besancon.fr

Institut FEMTO-ST
UFC / SUPMICROTECH / UTBM / CNRS
Fei Gao
Tél. +33 (0)3 84 58 38 01
fei.gao@utbm.fr

Mathieu Triclot
mathieu.triclot@utbm.fr

Laboratoire CIAD – Connaissance et intelligence artificielle distribuées
UTBM / UB / CNRS
Franck Gächter
Tél. +33 (0)3 84 58 38 17
franck.gechter@utbm.fr

LexTech Institute
Université de Neuchâtel
Florence Guillaume
Tél. +41 (0)32 718 12 32
florence.guillaume@unine.ch

Laboratoire ELLIADD
UFC
Ioan Roxin
Tél. +33 (0)3 81 99 46 20
ioan.roxin@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

Directrice de la publication : Macha Woronoff | Rédaction, composition :
Catherine Tondou | Conception graphique : Gwladys Darlot | Impression :
L'imprimeur Simon, Ornans / Imprim'vert.

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

1, rue Claude Goudimel | 25030 Besançon cedex
Présidente : Macha Woronoff | Tél. +33 (0)3 81 66 50 03

en association avec : Université de technologie de Belfort-Montbéliard^{1/2}
90010 Belfort cedex | Directeur : Ghislain Montavon | Tél. +33 (0)3 84 58 30 00
SUPMICROTECH^{1/2}

Chemin de l'Épitaphe | 25030 Besançon cedex
Directeur : Pascal Vairac | Tél. +33 (0)3 81 40 27 00

Université de Neuchâtel¹ | Avenue du 1^{er} mars 26 | CH - 2000 Neuchâtel
Recteur : Kilian Stoffel | Tél. +41 (0)32 718 10 20

Haute Ecole Arc¹ | Espace de l'Europe 11 | CH - 2000 Neuchâtel
Directrice : Brigitte Bachelard | Tél. +41 (0)32 930 11 11

Établissement français du sang Bourgogne - Franche-Comté
1, boulevard A. Fleming | 25020 Besançon cedex
Directrice : Fanny Deleltre | Tél. +33 (0)3 81 61 56 15

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

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