

# EN DIRECT

LE JOURNAL DE LA RECHERCHE ET DU TRANSFERT DE L'ARC JURASSIEN - NUMÉRO 314 - SEPTEMBRE - OCTOBRE 2024



**GRAND FORMAT [ INDUSTRIE 4.0 ]**

## ENTREPRISES INDUSTRIELLES & INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

**ÉCHELLES DE TEMPS**

La seconde, unité de mesure en négociation

**LENDEMAINS D'ÉLECTIONS**

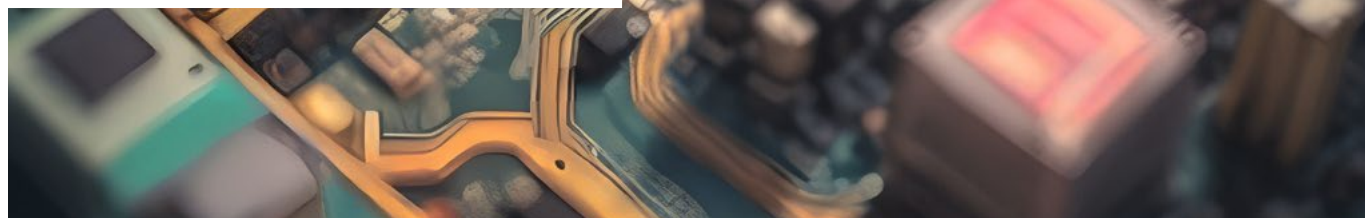
Les Français, toujours concernés par la politique

**LÉGENDES [ MÉCANIQUES ]**

Un mythique véhicule De Dion-Bouton en cours de restauration à la HE-Arc

**HISTOIRE [ LOCALE ]**

Un siècle d'état-civil de Belfort exploré grâce à l'IA





# EN DIRECT

NUMÉRO 314 - SEPTEMBRE - OCTOBRE 2024

## 3 | ACTUALITÉS

- Le générateur de secours à hydrogène, bientôt dans tous les *datacenters* ?
- Échelles de temps
  - La seconde, unité de mesure en négociation
  - Secondes de rattrapage
  - Élaborer un temps spécifique pour la Lune
- Fenêtres grandes ouvertes sur le ciel
- Des équations pour aider à pallier le manque de personnel infirmier à l'hôpital
- Ouvrir la réflexion autour de la vie des personnes âgées
- Les Français, toujours concernés par la politique
- Agir pour le vivant

## 12 | LÉGENDES [ MÉCANIQUES ]

Un mythique véhicule De Dion-Bouton en cours de restauration à la HE-Arc

## 14 | HISTOIRE [ LOCALE ]

Un siècle d'état-civil de Belfort exploré grâce à l'IA

## 16 | GRAND FORMAT [ INDUSTRIE 4.0 ]

Entreprises industrielles & intelligence artificielle

## SOLUTIONS DURABLES

## LE GÉNÉRATEUR DE SECOURS À HYDROGÈNE, BIENTÔT DANS TOUS LES DATACENTERS ?

Chargés de traiter les données permettant consultation de pages web, connexion à des plateformes de *streaming*, domotique, gestion d'opérations financières, internet des objets, organisation de visioconférences et tout autre service numérique, les *datacenters* sont toujours plus sollicités dans un monde hyperconnecté.

Grands consommateurs d'électricité et donc producteurs de gaz à effet de serre, ils sont dans la ligne de mire de chercheurs qui s'efforcent de trouver des solutions technologiques pour inscrire leur fonctionnement dans une démarche plus durable.

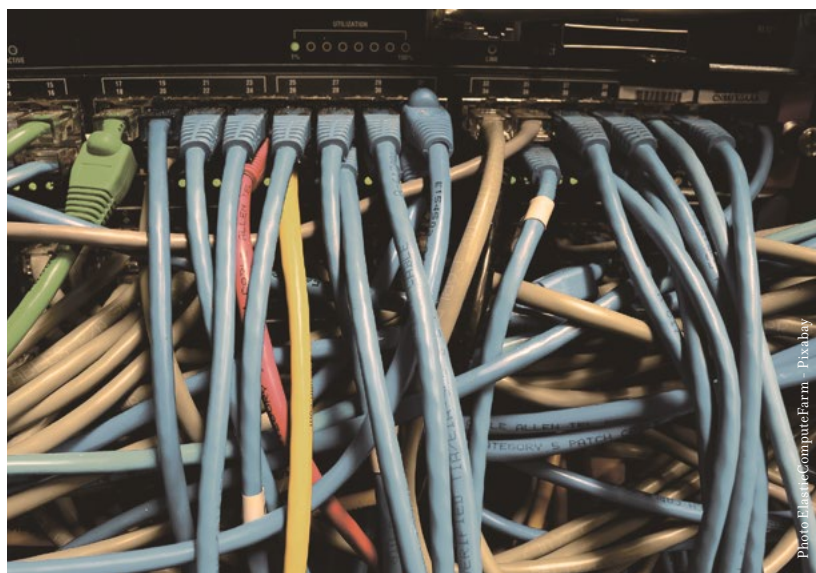
Pour pallier un éventuel défaut d'alimentation électrique qui réduirait momentanément les communications et services internet à néant, les membres du projet HyDATA proposent le recours à des piles à hydrogène en lieu et place des actuels générateurs de secours fonctionnant au diesel. Sans émission de carbone, silencieuse, la solution hydrogène a déjà fait ses preuves dans des contextes aussi différents que peuvent l'être un festival de plein air ou un bâtiment communal.

Dans le cadre d'une application pour les centres de données, la validation de concept a été apportée en 2021 avec un premier prototype, aujourd'hui relayé par un nouveau démonstrateur. « D'une plus grande puissance et d'une capacité de stockage plus importante, il repose sur une architecture modulaire et

conteneurisée, implantable à l'extérieur », explique Robin Roche, directeur du département Énergie à l'Institut FEMTO-ST et coordinateur du projet.

Avec une autonomie atteignant jusqu'à 48 heures pour l'alimentation simultanée de plusieurs baies de serveurs

HyDATA réunit les compétences et savoir-faire des PME H2SYS, concepteur et fabricant de générateurs à hydrogène, MAHYTEC, spécialiste des solutions de stockage de l'hydrogène, TRINAPS, opérateur télécom fondateur et exploitant du *datacenter* EXTENDO à Belfort, et de



informatiques et sans impact sur leur fonctionnement, le générateur à hydrogène a prouvé l'étendue de ses capacités et de ses performances lors des essais réalisés.

### UNE TECHNOLOGIE PRÊTE POUR L'INDUSTRIALISATION

La technologie est désormais mature pour passer à une phase de production et de commercialisation : il reste au consortium à identifier un partenaire industriel pour mener le projet jusqu'à son aboutissement.

l'université de Franche-Comté, de l'Institut FEMTO-ST et du FCLAB. Financé par BPI France et la Région Bourgogne - Franche-Comté, le projet est soutenu par le Pôle Véhicule du futur.

Contact :  
Institut FEMTO-ST  
Université de Franche-Comté /  
SUPMICROTECH / UTBM / CNRS  
Robin Roche  
Tél. +33 (0)3 84 58 34 79  
robin.roche@femto-st.fr

## ÉCHELLES DE TEMPS

## LA SECONDE, UNITÉ DE MESURE EN NÉGOCIATION

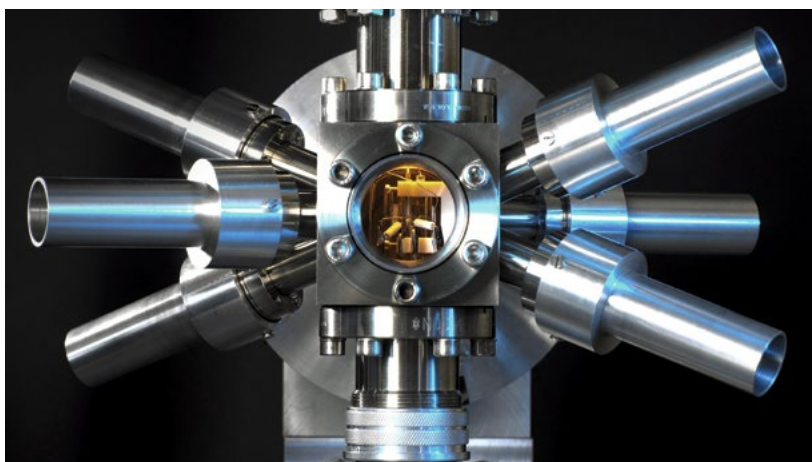
Si la formule populaire soutient qu'en général, « on n'est pas à une seconde près », pour la science la réalité est tout autre. En 1967, la définition de la seconde change, la façon de mesurer cette unité de temps aussi : à partir de cette date, le temps sera délivré par des horloges atomiques, et non plus déterminé par le mouvement des astres. La seconde pourrait aujourd'hui se voir redéfinie en raison de nouveaux développements technologiques.

## UNE SECONDE DE DÉRIVE EN TRENTE MILLIONS D'ANNÉES

Les horloges atomiques font preuve d'une stabilité de fréquence incroyable, puisqu'elle se mesure aujourd'hui à 16 chiffres après la virgule, ne dérivant que d'une seconde tous les 30 millions d'années. C'est amplement suffisant pour être à l'heure chaque jour. En réalité, c'est indispensable pour la science et pour les nombreuses applications du quotidien qu'elle met en œuvre. L'exemple le plus parlant et qui concerne le plus grand nombre est celui de la géolocalisation : la durée de propagation d'ondes électromagnétiques échangées entre un réseau de satellites et la Terre, mesurée par triangulation par des horloges atomiques embarquées et d'autres placées au sol, est convertie en distance. Seule une très grande exactitude de la mesure du temps indiquée par les horloges permet une localisation sur Terre des plus précises : une microseconde d'erreur dans la mesure de la propagation des ondes représente une erreur de positionnement de 300 m au sol. Le cœur des horloges atomiques – un oscillateur à quartz – bat au

diapason d'oscillations d'atomes de césium qui l'empêchent de s'emballer ou de ralentir. C'est le cas de la majorité des horloges. Aujourd'hui cependant, une nouvelle génération d'horloges, recourant à des principes optiques, permet de faire passer la stabilité de l'oscillateur à quartz de  $10^{-16}$  à  $10^{-18}$ . Une dizaine de

sures (BIPM) : « Plusieurs scénarios sont possibles, car tous les pays ne disposent pas d'horloges optiques, ou pas tous des mêmes. Nous devons trouver le meilleur consensus pour harmoniser les contributions des nombreux pays participant à la détermination du temps atomique ». L'une des possibilités consiste à



Horloge optique au strontium. Photo Andrew Brookes, National Physical Laboratory / Science Photo Library

modèles de ces horloges optiques sont aujourd'hui opérationnelles. Elles fonctionnent sur la base d'oscillations de strontium, d'ytterbium ou d'autres atomes encore, qui contrôlent et ajustent toujours plus rapidement la fréquence du signal généré par l'oscillateur à quartz, et rendent la mesure du temps d'autant plus exacte.

Redéfinir l'unité de mesure qu'est la seconde à l'aune des performances des horloges optiques apparaît une conséquence logique à cette évolution technologique. Directeur-adjoint du laboratoire Temps-fréquence de l'université de Neuchâtel, Gaetano Mileti est l'un des experts chargés d'instruire le dossier de la redéfinition de la seconde auprès du Bureau international des poids et me-

établir une moyenne du temps fourni par plusieurs types d'horloges, comme c'est le cas actuellement ; la moyenne pourrait être pondérée par un poids plus important de l'horloge présentant les meilleures performances. « Cette solution permettrait de redéfinir la seconde de manière plus exacte qu'aujourd'hui, tout en récompensant les efforts fournis par les équipes de recherche à travers le monde, dont les travaux portent sur différentes versions d'horloges atomiques. » Sur la base de différents critères d'ordre scientifique, les spécialistes du temps pourraient proposer la solution qu'ils jugent la meilleure lors de la prochaine conférence générale du BIPM, qui aura lieu en 2026, pour une redéfinition de la seconde à l'horizon 2030.

## SECONDES DE RATRAPAGE

À la suite de l'introduction de l'heure atomique en 1967, un écart minime, mais réel, est devenu possible entre l'heure légale et le temps astronomique. Lorsque la mesure physique a pris le relais de l'observation du mouvement des astres pour mesurer le temps, les horloges au césium ont donné naissance au Temps atomique international (TAI), garant d'une mesure du temps stable, mais déconnectée de la rotation de la Terre. Le temps astronomique existe toujours en parallèle, c'est le Temps universel (TU). Le Temps universel coordonné (UTC), qui est celui que le monde entier utilise, est une échelle comprise entre les deux : il a la stabilité du TAI, mais reste connecté à la rotation de la Terre. Afin qu'il reste en phase le plus possible avec le Temps universel, on le modifie d'une seconde,

dite intercalaire, lorsque l'évolution de la rotation de la Terre rend nécessaire ce réajustement.

« La vitesse de rotation de la Terre varie en fonction de phénomènes qui parfois s'opposent », souligne Gaetano Mileti. Elle s'est accélérée au cours des dernières décennies, au point qu'au lieu d'ajouter une seconde intercalaire, il pourrait être question d'en enlever. Mais cette accélération est aujourd'hui remise en cause par la fonte des pôles, qui déplace des masses d'eau en les éloignant des latitudes extrêmes de la planète. D'autres événements, comme des mouvements sismologiques ou tectoniques impossibles à prévoir, pourraient aussi affecter la vitesse de rotation de la Terre, dans un sens ou dans l'autre...

Depuis 1967, 27 secondes intercalaires ont été ajoutées au Temps

universel coordonné. Si une seconde de plus dans une journée ne bouscule pas franchement le quotidien, c'est un problème de taille à gérer pour la multitude d'appareils et d'instruments dont le fonctionnement est calqué sur l'hyperprécision du temps. Devant les difficultés rencontrées, la communauté internationale a décidé en 2022 de supprimer la seconde intercalaire. Là encore, les spécialistes auront à se prononcer. « La question de fond est de savoir quelle différence on va tolérer entre l'échelle UTC et le Temps universel. »

Si la décision de principe d'une suppression de la seconde intercalaire est bien actée, elle reste pour l'instant suspendue à l'adoption éventuelle d'un scénario de remplacement capable de faire consensus autour de ces questions, et d'une date pour sa mise en œuvre.

## ÉLABORER UN TEMPS SPÉCIFIQUE POUR LA LUNE

C'est un fait qui découle de la loi de la relativité : le temps ne s'écoule pas à la même vitesse sur la Lune et sur la Terre. Sur la Lune, moins massive que la Terre, il va un peu plus vite, à raison de 56 millionnièmes de seconde par jour. Le temps lunaire ne peut donc physiquement être jaugé avec les horloges atomiques mesurant le temps terrestre. Élaborer un temps lunaire devient cependant aujourd'hui une nécessité : plusieurs missions habitées en direction du satellite naturel de la Terre se préparent à court terme depuis les États-Unis, l'Europe, la Chine et l'Inde pour répondre à de nouveaux enjeux scientifiques, plus de cinquante ans après les premiers pas de l'homme sur la Lune.

« Le temps lunaire permettrait aux astronautes de se géolocaliser, de communiquer entre eux et de coordonner leurs actions. Le concept pourrait mettre en jeu des horloges spatiales et une horloge de référence placée à la surface de la Lune, selon un principe assez similaire à celui prévalant entre le réseau satellitaire et terrestre d'horloges atomiques. » Concerné par le projet à titre d'expert, Gaetano Mileti l'est aussi avec son équipe du Temps-fréquence à Neuchâtel, dont les dernières horloges atomiques miniatures ont l'exactitude et la stabilité requises pour l'élaboration du temps lunaire, dans des volumes de quelques centimètres cubes peu gourmands en énergie et commodes à embarquer pour un voyage sur la Lune.



Photo Valerio Bonaretti/Getty Images/Stockphoto

### Contact :

Institut de physique - Laboratoire Temps-fréquence – LTF

Université de Neuchâtel - Gaetano Mileti - Tél. +41 (0)32 718 34 82 - gaetano.mileti@unine.ch

## L'UNIVERS À LA LOUPE

## FENÊTRES GRANDES OUVERTES SUR LE CIEL

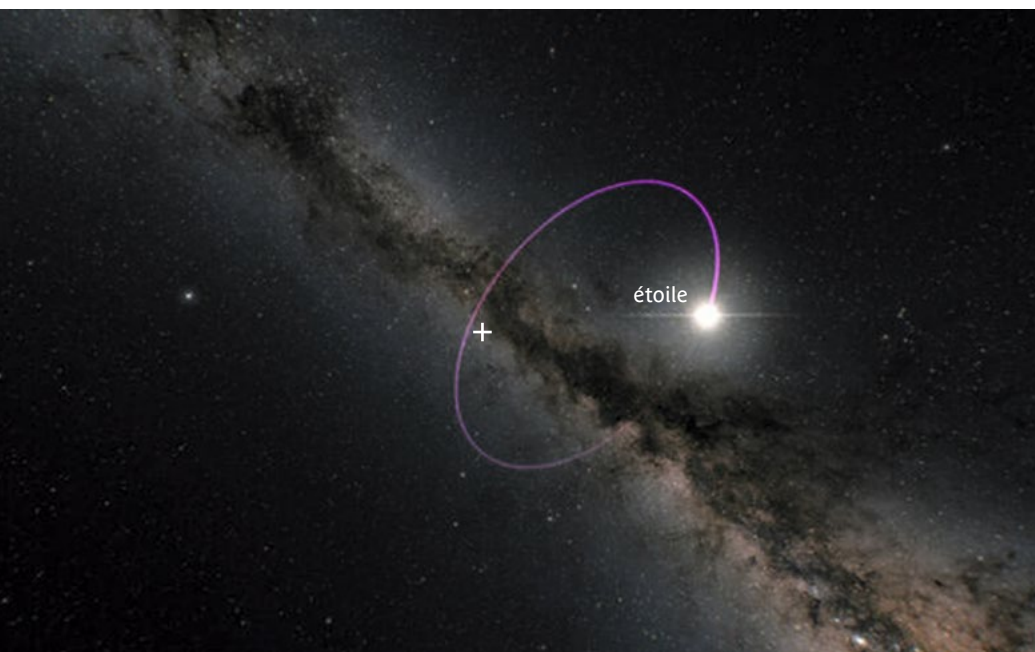


Illustration de l'orbite de l'étoile autour du trou noir BH3 (croix blanche) - ESA Gaia DPAC - CC BY-SA 3.0 IGO.  
Based on Gaia Collaboration, P. Panuzzo, et al. 2024

L'exploration du ciel connaît des progrès spectaculaires depuis que les sondes spatiales décuplent les capacités des télescopes terrestres, propulsant la connaissance de notre galaxie et de l'univers à des degrés prodigieux. Des équipes de recherche de l'Observatoire de Besançon / Institut UTINAM participent à cette aventure scientifique collective, en collaborant aux plus grands programmes initiés dans le domaine à l'échelle européenne ou mondiale.

Ainsi la découverte, dans notre galaxie, d'un trou noir de masse exceptionnelle a-t-elle été validée dans une publication scientifique cosignée par l'astronome Céline Reylé, l'astrophysicienne Annie Robin et l'ingénieur Gauthier Lecoutre en avril dernier. C'est l'une des avancées les plus récentes obtenues grâce au programme européen Gaia, auquel l'Observatoire de Besançon participe depuis les origines.

Le satellite Gaia a été lancé en 2013, avec l'étude de la Voie lactée pour objectif principal. Dans la constellation de l'Aigle, à environ 2 000 années-lumière<sup>1</sup> de la Terre, le trou noir qu'il a décelé est nommé Gaia BH3 : c'est le troisième trou noir « dormant » découvert par le satellite européen. Un trou noir dormant présente la caractéristique soit d'être isolé, soit d'être éloigné de l'étoile avec laquelle il forme un système binaire. Il n'a donc pas de matière environnante à aspirer, matière qui produit habituellement des rayons X lorsqu'elle est arrachée à une étoile compagne : c'est cette absence de rayonnement qui le rend particulièrement difficile à détecter.

Au total, une vingtaine de trous noirs seulement, sur la centaine de millions estimée par les modèles théoriques, ont été observés jusqu'à ce jour dans la Voie lactée. Gaia BH3 est le plus gigantesque d'entre eux, avec une masse jugée

presque 33 fois supérieure à celle du Soleil. « Les autres trous noirs d'origine stellaire connus dans notre galaxie sont typiquement inférieurs à 10 masses solaires. Gaia BH3 est le seul à avoir une masse comparable à celle des trous noirs détectés dans des galaxies lointaines par d'autres moyens, tels que les ondes gravitationnelles », précisent les chercheuses. Les analyses spectroscopiques de l'étoile compagne de Gaia BH3 révèlent une composition presque dépourvue d'éléments chimiques plus lourds que l'hydrogène et l'hélium. Elles confirment l'hypothèse que ces trous noirs se seraient formés à partir de l'effondrement d'étoiles massives pauvres en éléments lourds.

« Cette découverte révolutionne notre compréhension de l'évolution des étoiles massives en trous noirs, et ouvre de nouvelles perspectives de recherche. »

## EUCLID, PLUS LOIN QUE LA GALAXIE

Passant aisément les limites de notre galaxie, le satellite Euclid dégage de larges et profonds champs d'exploration vers le cosmos. Son lancement date de juillet 2023, et il est comme Gaia situé à 1,5 million de kilomètres de la Terre, soit quatre fois plus loin que la Lune. Sur un tiers du ciel, ce télescope exceptionnel capte la lumière émise par les objets célestes dans le spectre visible et le proche infrarouge, une catégorie d'ondes émise par des galaxies et quasars extrêmement lointains. Les toutes premières images qu'Euclid a transmises témoignent de sa capacité à fournir des clichés d'une résolution jamais atteinte et à cartographier le ciel de façon très détaillée, avec des exemples

à donner le vertige. Cinq heures d'observation lui ont ainsi suffi pour détecter 100 000 galaxies et les fixer sur une même image ! Parmi elles, le millier de galaxies de l'Amas de Persée, à 240 millions d'années-lumière de la Terre, apparaît nettement en avant plan. Et à l'échelle d'une seule journée, le télescope spatial a révélé pas moins de 11 millions d'objets en lumière visible et 5 millions en infrarouge... Euclid est capable de détecter les étoiles les plus légères, de la lumière d'étoiles arrachées à leurs galaxies parentes, des nuages de gaz ou des planètes errantes ; il offre la possibilité d'étudier des étoiles proches autant que des galaxies situées à des distances phénoménales. Des milliards d'entre elles devraient être répertoriées puis observées au terme de sa mission, prévue sur six années. Le télescope donnera accès à de nouvelles connaissances sur l'origine, la structure et l'évolution

*Les galaxies de l'amas de Persée vues par Euclid. Photo ESA*

de l'univers, et sur la nature toujours si mystérieuse de l'énergie noire et de la matière noire. Programme de l'Agence spatiale européenne (ESA), Euclid concerne plus de 2 000 scientifiques issus de 300 structures de recherche en Europe, aux États-Unis, au Canada et au Japon, un consortium dont font partie les chercheuses de l'Observatoire de Besançon.

<sup>1</sup> Une année-lumière (AL), distance parcourue par la lumière dans le vide pendant une année, équivaut à 9 461 milliards de kilomètres.

Contacts :  
Institut UTINAM  
Observatoire des sciences de l'Univers  
THETA de Franche-Comté  
Université de Franche-Comté / CNRS  
Céline Reylé / Annie Robin  
Tél. +33 (0)3 81 66 69 41  
celine.reyle-laffont@univ-fcomte.fr  
annie.robin@univ-fcomte.fr



## ÉCONOMIE DE LA SANTÉ

# DES ÉQUATIONS POUR AIDER À PALLIER LE MANQUE DE PERSONNEL INFIRMIER À L'HÔPITAL

Le problème se pose aussi simplement qu'il est complexe à résoudre : à l'hôpital, que faire pour que le temps consacré aux soins infirmiers soit suffisant pour chaque patient ? Cette question fait écho à la dégradation des conditions de travail des infirmières et infirmiers dans de nombreux services hospitaliers. Au-delà de la problématique d'une pénurie chronique de personnel et des choix ou possibilités de recrutement de l'institution,

elle suggère que la situation soit étudiée de manière quantitative pour donner des clés d'analyse, voire des leviers d'action aux décideurs.

## OUTILS D'AIDE À LA PRISE DE DÉCISION

C'est à grand renfort d'équations qu'Alexis Roussel propose de s'atteler à la tâche. À l'université de Franche-Comté, doctorant au CRESE sous la supervision de Mostapha Diss et

de Marc Deschamps, Alexis Roussel travaille depuis trois ans à construire des modèles probabilistes temporels pour alimenter sa thèse en économie de la santé, et nourrir la réflexion autour d'un problème épineux.

« Les modèles élaborés au cours de ma recherche se fondent essentiellement sur la théorie des files d'attente, et permettent de développer des outils d'aide à la prise de décision », indique Alexis Roussel.

Le jeune chercheur suppose connu le volume d'heures de soins que représente le personnel infirmier en place, par exemple sur une semaine, pour en déduire un temps moyen théorique pour chacun des patients hospitalisés sur la même période. C'est là que les choses se corsent : les équations qu'il crée donnent les moyens d'estimer ce laps de temps en fonction des flux d'arrivée et de départ des patients, et selon d'éventuelles variations du volume global d'heures disponibles au cours du temps. Selon les différents scénarios qu'il a étudiés, les modèles montrent à quelle vitesse et à partir de quel moment le temps

passé auprès de chaque patient se réduit, et tend inexorablement vers zéro dès lors que de nouveaux personnels ne sont pas mobilisés pour répondre à une baisse du temps total de soins disponible. S'il est parfois difficile de mettre en phase les modèles théoriques et la réalité de terrain, il n'en reste pas moins que ces deux façons de considérer une même problématique peuvent largement tirer profit l'une de l'autre. « Les équations produites dans ma thèse seraient faciles à implémenter dans un logiciel, pour que les responsables en logistique et management de personnel puissent déterminer des seuils de tolérance à une

situation, décider de procéder à des aménagements de plannings ou à des recrutements. La difficulté consiste plutôt à recueillir les informations réelles concernant les flux de patients et le temps de soins disponible, pour entrer dans les équations les paramètres spécifiques à un contexte. »

Les modèles mis au point pourraient évoluer vers plus de finesse encore, par exemple en prenant en compte la possibilité d'une coopération entre les personnels infirmiers selon leurs compétences respectives, ou en adaptant le temps total disponible au nombre de patients présents à un moment donné : les modèles pourraient alors aider, en temps réel, à procéder à des ajustements bénéfiques sur le terrain.

Objet d'une soutenance orale au cours de ce mois de septembre, la thèse d'Alexis Roussel a été réalisée grâce à un financement de la Région Bourgogne - Franche-Comté.



Photo Ryan McGuire - Pixabay

Contact :  
CRESE – Centre de recherche sur les  
stratégies économiques  
Université de Franche-Comté  
Alexis Roussel  
Tél. +33 (0)3 81 66 67 64  
alexis.roussel@univ-fcomte.fr

## PSYCHOLOGIE SOCIOCULTURELLE

# OUVRIRE LA RÉFLEXION AUTOUR DE LA VIE DES PERSONNES ÂGÉES

« Il existe autant de manières de vieillir que de vivre... » Soucieuse de déconstruire les stéréotypes souvent associés aux seniors, entre jeunisme à tout prix et fatalisme du déclin, la psychologue Tania Zittoun montre qu'on peut réinventer nos façons de penser, et considère

que l'environnement physique et social joue un rôle important sur le vieillissement.

Dans le projet HomAge<sup>1</sup> qu'elle a récemment piloté à l'université de Neuchâtel, Tania Zittoun poursuit ses travaux en psychologie socioculturelle concernant l'adaptation des personnes âgées

à de nouvelles conditions de logement.

La recherche a été menée à l'échelle du canton de Neuchâtel, alors que l'État fédéral oriente sa politique vers une meilleure prise en charge des seniors, notamment par la construction d'immeubles

dotés d'appartements « avec encadrement ».

L'entrée en institution, le déménagement dans un autre logement, pour les personnes les plus autonomes, ou encore l'accompagnement à domicile : ces changements signifient s'approprier un nouvel espace de vie ou reconsidérer celui qu'on a connu, et prendre d'autres habitudes. « Cela crée des occasions d'apprentissage et de développement que nous documentons à travers nos travaux », explique Tania Zittoun.

## MISE EN SCÈNE DE SITUATIONS RÉELLES

Afin de partager le fruit de leur travail et de faciliter les échanges entre les acteurs concernés, personnes âgées, proches aidants, soignants, responsables d'institutions, élus, les chercheuses se sont adjoint les talents d'un auteur de théâtre, également anthropologue, pour mettre en scène deux scénarios parmi les plus fréquemment rencontrés : dans le premier, une dame veuve depuis peu s'installe dans un appartement avec encadrement ; dans le second, la dame choisit de rester dans sa maison contre l'avis de ses

enfants, et bénéficie de l'aide d'un réseau informel, voisins, facteur, livreur... « Les pièces de théâtre demandent qui, en définitive, opère les choix de vie des personnes âgées, et comment cette réalité est vécue. » La mise en scène de situations du quotidien aide aussi le public, essentiellement des professionnels et des proches aidants, à prendre conscience des problèmes, et pointe la nécessité de procéder à certains ajustements dans l'équipement ou l'encadrement à disposition. Une autre rencontre, baptisée « Vivre chez soi », a donné l'occasion d'orienter la réflexion autour de solutions de logement comme la colocation ou les coopératives intergénérationnelles, ou sur la création de maisons de quartier pour personnes âgées, autant d'initiatives qui aident à rester à domicile en encourageant le lien social. « L'étude est menée à l'échelle cantonale, mais les problèmes se posent ailleurs de la même façon. Des initiatives locales intéressantes méritent d'être valorisées pour en inspirer de similaires à d'autres endroits. Et un regard extérieur met en évidence certains questionnements. Par exemple, on se rend compte que dans

beaucoup de décisions prises au niveau institutionnel, les personnes âgées, pourtant les premières concernées, ne sont pas consultées. »

## CONSERVER DES LIENS AVEC LE PASSÉ

Quels que soient le lieu et la manière de vivre l'avancée en âge, pouvoir conserver une part de ce qui a fondé la vie passée est très souvent essentiel.

C'est continuer de voir un paysage qu'on a toujours connu et apprécié, garder une activité, au moins partiellement, que ce soit faire la cuisine ou s'engager au service d'une cause. C'est aussi transformer une expérience de vie qu'on ne peut poursuivre, en récit qu'on peut partager... « Prendre ces aspects en considération s'avère encore plus important dans le cas d'un déménagement », souligne Tania Zittoun.

La psychologie socioculturelle apporte des réponses particulières à la problématique du vieillissement.

Pour mieux les faire connaître, les travaux de l'équipe neuchâteloise feront l'objet d'une valorisation de plus grande envergure avec la création, à l'horizon 2025, d'une nouvelle pièce de théâtre, cette fois à destination du grand public.

<sup>1</sup> *Projet mené en collaboration avec Fabienne Gjeller, chercheuse en post-doctorat à l'UniNE, et Michèle Grossen, professeure honoraire de l'université de Lausanne. HomAge a bénéficié d'un financement du Fonds national suisse.*

Contact :  
Institut de psychologie et éducation  
Université de Neuchâtel  
Tania Zittoun  
tania.zittoun@unine.ch



## LENDEMAINS D'ÉLECTIONS

## LES FRANÇAIS, TOUJOURS CONCERNÉS PAR LA POLITIQUE

C'est un reproche souvent formulé et relayé par les médias : les Français, les jeunes surtout, ne seraient plus intéressés par la politique, absents des bureaux de vote, indifférents aux débats... Les élections législatives de juin dernier ont démontré qu'il n'en est rien, ou du moins que cette affirmation mérite d'être largement nuancée.

Pour Vincent Lebrou, enseignant-chercheur en sciences politiques à l'université de Franche-Comté / CRJFC, « s'il est vrai que, de manière globale, la baisse de la participation aux scrutins est régulière depuis le début de la 5<sup>e</sup> République, la part des abstentionnistes systématiques est cependant relativement faible dans notre société, de l'ordre de 15 %. Si beaucoup ne vont pas voter à chaque scrutin, l'essentiel de la population reste très concerné par la vie politique, son fonctionnement et ce qui est susceptible de s'y décider. »

## VOTES ET AUTRES MOBILISATIONS

Pour le chercheur, l'intérêt pour la politique est aussi à chercher ailleurs que dans les isoloirs : « Les nombreuses mobilisations de ces dernières années témoignent d'un intérêt toujours très marqué pour la politique en France. Les jeunes, par exemple, sont très sensibles aux enjeux climatiques et d'égalité. Ils s'expriment juste un peu moins que leurs aînés par le biais du vote, qui leur semble souvent être une voie d'expression un peu sclérosée ou bloquée ».

Limitier la politique à la sphère des instances et fonctionnements



Photo Arnaud Jaegers - Unsplash

traditionnels apparaît restrictif pour le chercheur, comme en témoigne la composition de l'Assemblée nationale, pilier sur lequel est fondé le régime parlementaire français, mais qui « ne ressemble en rien au reste de la société ».

Vincent Lebrou note que « l'Assemblée ne compte quasiment jamais d'ouvriers ou d'employés dans ses rangs, alors qu'il s'agit de deux catégories socio-professionnelles majoritaires dans le monde du travail en France ».

Quant aux femmes, elles restent minoritaires, et leur progression est lente. Leur représentation était de 10,9 % en 1997 ; 18,5 % en 2007 ; 26,9 % en 2012 ; 38,6 % en juin 2017, qui marque un record, avant de marquer le pas avec 37,3 % en 2022 et 36 % en 2024. Et il a fallu attendre 2022 pour qu'une femme soit élue présidente de l'Assemblée nationale, Yaël Braun-Pivet, réélue en 2024 pour exercer cette fonction suprême.

Si les femmes ne sont que 208 à siéger aujourd'hui à l'Assemblée,

les jeunes se font encore plus discrets : 25 députés seulement ont moins de 30 ans (4,3 %). « Cette distorsion entre la composition de l'Assemblée et celle de l'électorat peut susciter un sentiment de décalage dans la société : ceux qui nous gouvernent ne nous ressemblent pas ! » Pour que la politique et la société soient davantage en phase, Vincent Lebrou suggère de considérer les actions citoyennes comme faisant partie intégrante du fait politique : « Il faudrait faire en sorte que la vie politique ne se limite pas au cadre institutionnel et qu'on reconnaisse enfin que l'engagement dans la vie de son quartier ou dans des associations est tout aussi utile que ce qui peut être entrepris par les représentants élus. Il faudrait gommer la hiérarchie actuelle, qui fait de la vie électorale le centre de tout ! »

## Contact :

Centre de recherches juridiques de l'université de Franche-Comté – CRJFC  
Vincent Lebrou  
Tél. +33 (0)3 81 66 66 08  
vincent.lebrou@univ-fcomte.fr

## PUBLICATION

## AGIR POUR LE VIVANT

Respecter la nature, cohabiter, coexister avec les animaux et les plantes... Si les déclarations d'intention paraissent parfois creuses ou vaines, elles savent aussi se doubler de véritables engagements et d'actions concrètes, méritantes et efficaces. C'est ce que dévoile l'ouvrage *Convivialité. L'alliance avec la nature*, un recueil d'histoires vraies toutes plus intéressantes les unes que les autres, qui prouvent que le mieux-vivre ensemble est possible, et qui donnent foi en la capacité des humains à considérer leur juste place au sein du vivant. De la défense de la splendide forêt de Fontainebleau au XIX<sup>e</sup> siècle par des artistes célèbres à la sauvegarde de l'unique tortue terrestre de France métropolitaine, qui demanda plus de 80 ans de tractations pour aboutir à un vrai dispositif de conservation en 2009, ces récits témoignent de l'engagement protéiforme et souvent tenace de scientifiques, d'artistes, d'élus, d'associations et de citoyens. Ils montrent qu'aller ainsi à la rencontre de la nature change le regard que l'on porte sur les collectifs du vivant, aiguise la vue pour découvrir ce qui n'est pas toujours visible, fait prendre conscience de certaines réalités, celle des forêts sèches de Nouvelle-Calédonie ou des hêtraies de la Massane à la frontière espagnole, celle des oiseaux migrateurs, des coraux ou des moules perlières. D'autres histoires encore assurent que les entreprises et les habitants peuvent agir pour un meilleur partage des territoires. Le retour des rapaces balbuzards dans les marais restaurés de Corbeil-Essonnes est un exemple de cohabitation réussie,

et l'indicateur d'une bonne protection d'une zone humide fragile dans un espace urbanisé, à quelques kilomètres à vol d'oiseau de Paris. Les actions en faveur de la biodiversité chez STORENGY sont rendues possibles par la motivation des salariés, elle-même encouragée par la prise en compte des problèmes que posent de nouveaux fonctionnements sur leurs activités. L'adoption de pratiques inédites aide à sauvegarder des espèces végétales endémiques de La Réunion, étouffées par des plantes qui, introduites sur l'île dès les débuts de la colonisation au XVII<sup>e</sup> siècle, se sont révélées envahissantes : des gestes quotidiens effectués dans les jardins aux chantiers d'arrachage de grande envergure, les habitants bénévoles admettent qu'aller à l'encontre de ces espèces végétales, qu'ils apprécient pourtant parfois, est nécessaire pour le bien d'écosystèmes tout entiers. Les chapitres s'enchaînent et se lisent comme des récits de voyage, étonnants, captivants, parsemés de traits d'humour comme il convient aux questions graves. Damien Marage, forestier de formation et enseignant-chercheur en géographie à l'université de Franche-Comté / laboratoire Théma, signe aux côtés de l'écologue Patrick Blandin et du philosophe de l'écologie Frédéric Ducarme ce livre édité fin 2023 à l'occasion des 75 ans de l'Union internationale pour la conservation de la nature.

Blandin P., Ducarme F., Marage D., *Convivialité. L'alliance avec la nature*, Éditions de l'atelier, 2023.

Ces histoires donnent foi en la capacité des humains à considérer leur juste place au sein du vivant





Au tournant du XIX<sup>e</sup> siècle, le quadricycle à moteur De Dion-Bouton préfigure l'avènement de l'automobile et témoigne de l'ingéniosité de ses concepteurs. Un exemplaire de ce véhicule étonnant est livré à l'expertise des spécialistes de la Haute Ecole Arc Conservation-restauration : ils en assurent la restauration à des fins scientifiques et pédagogiques, et en vue de son exposition en musée.



LÉGENDES [ MÉCANIQUES ]

# UN MYTHIQUE VÉHICULE DE DION-BOUTON EN COURS DE RESTAURATION À LA HE-ARC

Il s'agit  
de garder  
la mémoire de  
la conception et  
de la fabrication  
du véhicule,  
ainsi que les  
traces de son  
usage passé

Si elle n'est pas passée inaperçue, l'arrivée d'une De Dion-Bouton 1897 dans les locaux de la Haute Ecole Arc a tout de même manqué d'un peu de panache : c'est que le temps et la rouille n'ont pas épargné le vénérable véhicule, malgré les soins en conservation que lui a prodigués son propriétaire, le Musée national de l'automobile - Collection Schlumpf de Mulhouse. C'est donc dans un état avancé de vieillissement que ce qu'il convient de nommer un *quadricycle à moteur* a rejoint les ateliers de l'école. Ce n'est d'ailleurs pas dans l'objectif de lui rendre toute sa superbe, ni même pour le voir à nouveau rouler que les deux institutions ont conclu un accord de partenariat pour sa restauration : il s'agit avant tout de remonter le fil de son histoire et de préserver sa mémoire. Plus tout à fait un vélo et pas encore une auto, le quadricycle à moteur est composé d'un train arrière motorisé sur lequel vient se poser

le cadre muni de la selle, et un module avant comprenant le guidon et une petite banquette placée devant lui, sur laquelle peut s'installer un passager. Conservateur-restauteur d'objets techniques à la HE-Arc où il est chargé de cours, Guillaume Rapp a guidé cinq de ses étudiants pendant tout un semestre sur le chemin de la restauration du quadricycle. « Ce projet donne l'opportunité de mener des recherches sur les matériaux et de comprendre le fonctionnement du moteur, qui à l'époque était à la pointe de la technique. » Les moteurs à essence des différents tricycles et quadricycles mis sur le marché à cette époque atteignaient 300 à 500 tours/mn. Grâce aux améliorations novatrices qui lui avaient été apportées, le moteur De Dion-Bouton tournait, lui, à plus de 1 000 tours/mn, une révolution qui a en grande partie posé les bases de la fabri-

cation automobile : le système d'allumage inventé alors a traversé le temps, il a fondé la technologie sur laquelle fonctionne toujours l'allumage des moteurs thermiques. Découvrir ces éléments techniques sur un véhicule d'époque représente une expérience unique, mais ne dispense pas de prendre des renseignements complémentaires. « Les informations que fournit l'observation d'un tel objet sont confrontées à d'autres sources, comme des documents techniques ou des témoignages issus d'archives. Cette démarche donne les moyens de comprendre et d'interpréter de façon plus sûre ce que nous avons sous les yeux. »

## RESPECTER LA CONCEPTION D'ÉPOQUE

L'allumage, la carburation, le refroidissement sont étudiés et retranscrits dans des croquis et des dessins cotés ; des tests simples et efficaces permettent de juger l'état et les capacités du moteur. Le démontage de ses différentes pièces, de la boîte à vitesses, du système de freinage, souvent très corrodées, nécessite un savoir-faire particulier et minutieux, protégeant au maximum du risque de casse ou d'altération. Comptant au nombre des méthodes employées, le nettoyage cryogénique, sorte de « sablage » à base d'air comprimé et de glace carbonique, ne laisse aucun résidu ni aucune trace d'eau sur les pièces : les particules projetées se gazéifient immédiatement. Le brossage métallique, auquel il est souvent fait recours, est adapté en fonction du type de surface et de son état. « L'expérience fournit peu à peu matière à l'élaboration d'un protocole de restauration des objets techniques, c'est l'un de nos objectifs. » Toutes les pièces et matières sont visées par un examen approfondi

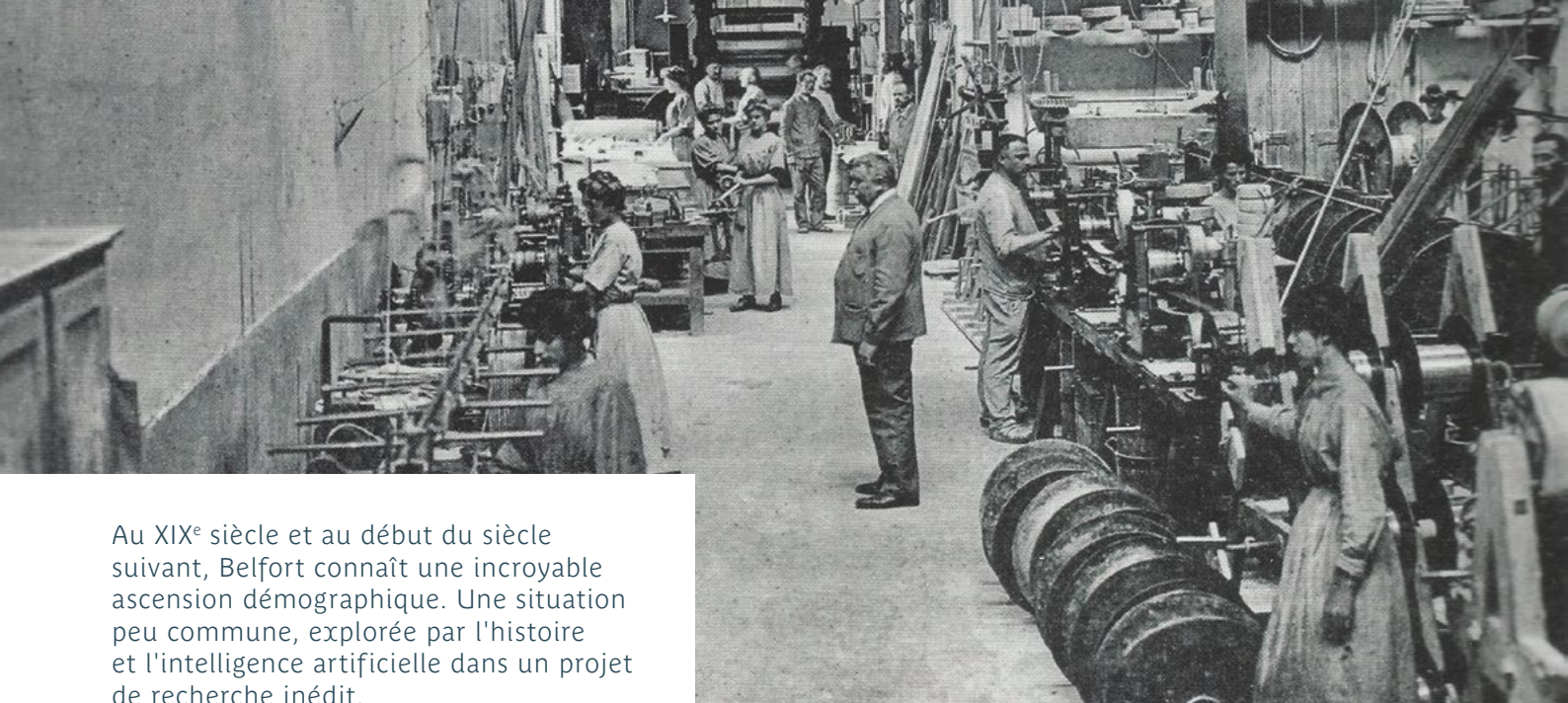
pour documenter l'objet et mieux le restaurer : cuirs, peinture d'origine, matériaux ferreux du châssis... Même très dégradé, le cuir de la selle par exemple fait l'objet d'une remise en forme délicate, pour que ce modèle d'assise jugé très particulier puisse être conservé. « Les recherches menées sur des objets ethnographiques et archéologiques donnent à notre département une connaissance spécifique pour la restauration et la conservation d'objets organiques très abimés, que nous pouvons utiliser pour les objets techniques », explique Guillaume Rapp. Toujours dans l'optique de rester au plus près de la conception de l'époque et de l'état d'origine du véhicule, ce sont des pneus de couleur blanche qui habilleront les roues : les pneus noirs n'apparaîtront en effet qu'à la fin des années 1920. « Il nous paraît important de conserver autant que possible les pièces d'époque et fabriquées artisanalement, et de faire preuve de cohérence lorsqu'il est nécessaire d'intégrer des compléments contemporains dans la restauration. » Léger, fiable et rapide, le quadricycle De Dion-Bouton a été produit à des milliers d'exemplaires et pendant de nombreuses années par la célèbre entreprise française, pilotée par l'aristocrate visionnaire De Dion et l'ingénieur mécanicien Bouton. La restauration du spécimen

confié à l'équipe de la HE-Arc est envisagée selon des normes et des techniques scientifiquement étudiées, permettant à la fois de garder la mémoire de la conception et de la fabrication du véhicule ainsi que les traces de son usage passé, et d'assurer la conservation du quadricycle dans le temps. « C'est un document que nous laissons pour les générations futures », conclut Guillaume Rapp.



Le quadricycle avant et après traitement - Photos HE-Arc

Contact :  
HE-Arc Conservation-restauration  
Guillaume Rapp  
Tél. +41 (0)32 930 19 19  
guillaume.rapp@unine.ch



Au XIX<sup>e</sup> siècle et au début du siècle suivant, Belfort connaît une incroyable ascension démographique. Une situation peu commune, explorée par l'histoire et l'intelligence artificielle dans un projet de recherche inédit.

HISTOIRE [ LOCALE ]

# UN SIÈCLE D'ÉTAT-CIVIL DE BELFORT EXPLORÉ GRÂCE À L'IA

De 1861 à 1911,  
le nombre  
d'habitants  
de Belfort  
augmente de  
386%, c'est  
plus qu'à  
Paris dans  
le quartier  
populaire de  
Belleville

Ville militaire, ville ouvrière, ville frontière, Belfort connaît au cours du XIX<sup>e</sup> siècle des transformations dont l'importance et les spécificités sont directement liées à ses différentes réalités. C'est pour retracer cette évolution et en extraire des trajectoires de vie que l'histoire et l'intelligence artificielle se conjuguent dans un projet innovant, mené par Laurent Heyberger, historien pour la période contemporaine à RECITS / Institut FEMTO-ST, et Franck Gechter, spécialiste d'intelligence artificielle (IA) et réalité virtuelle au laboratoire CIAD, tous deux enseignant leur discipline à l'UTBM.

Le projet se concentre sur les années 1807 à 1919, et vise l'analyse des 39 000 actes de naissances et 38 000 actes de décès enregistrés à Belfort sur cette période.

« L'une des portes d'entrée pour cerner les populations à cette époque est de s'intéresser aux naissances hors mariage, qui

représentent un phénomène social dans toute l'Europe au XIX<sup>e</sup> siècle », explique Laurent Heyberger. À Belfort, la proportion de ces naissances augmente régulièrement, passant d'environ 2,3 % pendant la décennie 1810 à 11,1 % à la fin du règne de Napoléon III. Les années 1870 voient ce taux monter en flèche. Le nombre de naissances hors mariage atteint alors son plus haut sommet, 14,9 %, ce qui se révèle supérieur à la moyenne en France. Il reste important jusqu'au début du siècle suivant, égalant 13,6 % avant 1914. Après la guerre franco-prussienne de 1870-1871, Belfort restée dans le giron de l'Hexagone est une terre d'accueil pour les Alsaciens ayant choisi d'opter pour la nationalité française à la faveur du traité de Francfort. Entre 1871 et 1911, pas moins de 22 000 Alsaciens quittent leur région, annexée par la Prusse, pour rejoindre Belfort. Ils s'ajoutent à une population

< Belfort - Atelier de câblerie SACM, à la charnière des XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles - Photo Alstom

déjà en augmentation, à laquelle se sont intégrés des Italiens, des Russes et des Suisses. De 1861 à 1911, le nombre d'habitants de la ville augmente de 386 %, c'est plus qu'à Paris dans un quartier populaire comme Belleville (125 %) sur la même période.

### HAUSSES RECORDS DE LA DÉMOGRAPHIE

Belfort continue son ascension démographique avec l'industrialisation du territoire à la fin des années 1870. L'arrivée massive de travailleurs depuis le Haut-Rhin est essentiellement due au transfert d'entreprises désormais considérées comme allemandes, que leurs patrons, suivis par leurs employés, déplacent de l'autre côté de la frontière.

Le quartier ouvrier des Vosges passe de 520 à 12 600 habitants entre 1872 et 1911, une progression inouïe de 8 000 % !

Outre les registres d'état-civil témoins de ces bouleversements démographiques, la banque de données sur laquelle s'appuient les chercheurs se complète de 12 000 fiches d'embauche issues des archives de l'ancienne filature DMC. « Le recouplement des sources historiques permettra d'affiner les analyses concernant les naissances hors mariage, qui étaient le plus souvent le lot des ouvrières et des domestiques, ces dernières étant souvent considérées comme des prostituées à domicile », constate Laurent Heyberger. Les documents donneront aussi des informations sur la reprise du travail après une naissance, sur l'abandon d'enfants ou sur leur décès, et de manière générale sur la réalité de l'époque, pour laquelle les archives sont parfois lacunaires. « En 1905, une

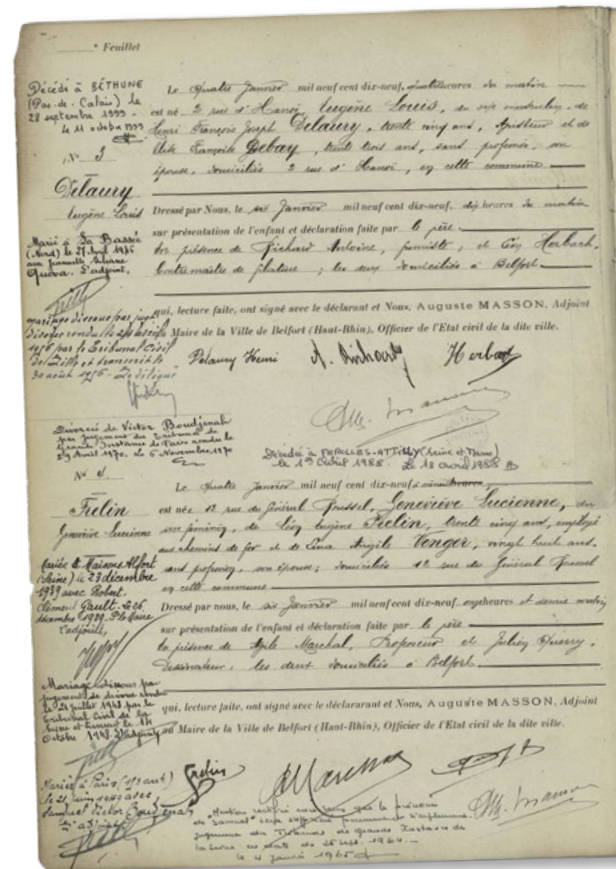
grève contre le droit de cuisson, de portée nationale, éclate à Limoges. À la lecture de la presse belfortaine de l'époque, très prude et conservatrice, il est impossible de comprendre le sens et l'importance de cette grève », racontent les chercheurs à titre d'exemple. En reconstituant les carrières des hommes et surtout celles des femmes, il sera possible de mieux comprendre un contexte social alors en profonde mutation. Grâce à l'intelligence artificielle, ces investigations seront menées à grande échelle, sur l'ensemble des données, quand les logiciels de statistiques traditionnellement employés travaillent sur des échantillons. « Des modèles à base de réseaux de neurones artificiels seront construits et entraînés avant de s'appliquer aux dizaines de milliers d'archives à notre disposition, explique Franck Gechter. Le défi est d'élaborer une intelligence artificielle spécifique, au service de l'histoire, pour aider à l'analyse et à l'interprétation des sources documentaires. »

Incluant les travaux de deux doctorants, ce projet est une première pour l'un comme pour l'autre des chercheurs ; il reçoit la contribution d'étudiants de l'UTBM, qui, en annotant les 2 000 documents d'état-civil servant à la construction du modèle, effectuent une tâche préparatoire essentielle en vue de l'exploitation des données par l'intelligence artificielle.

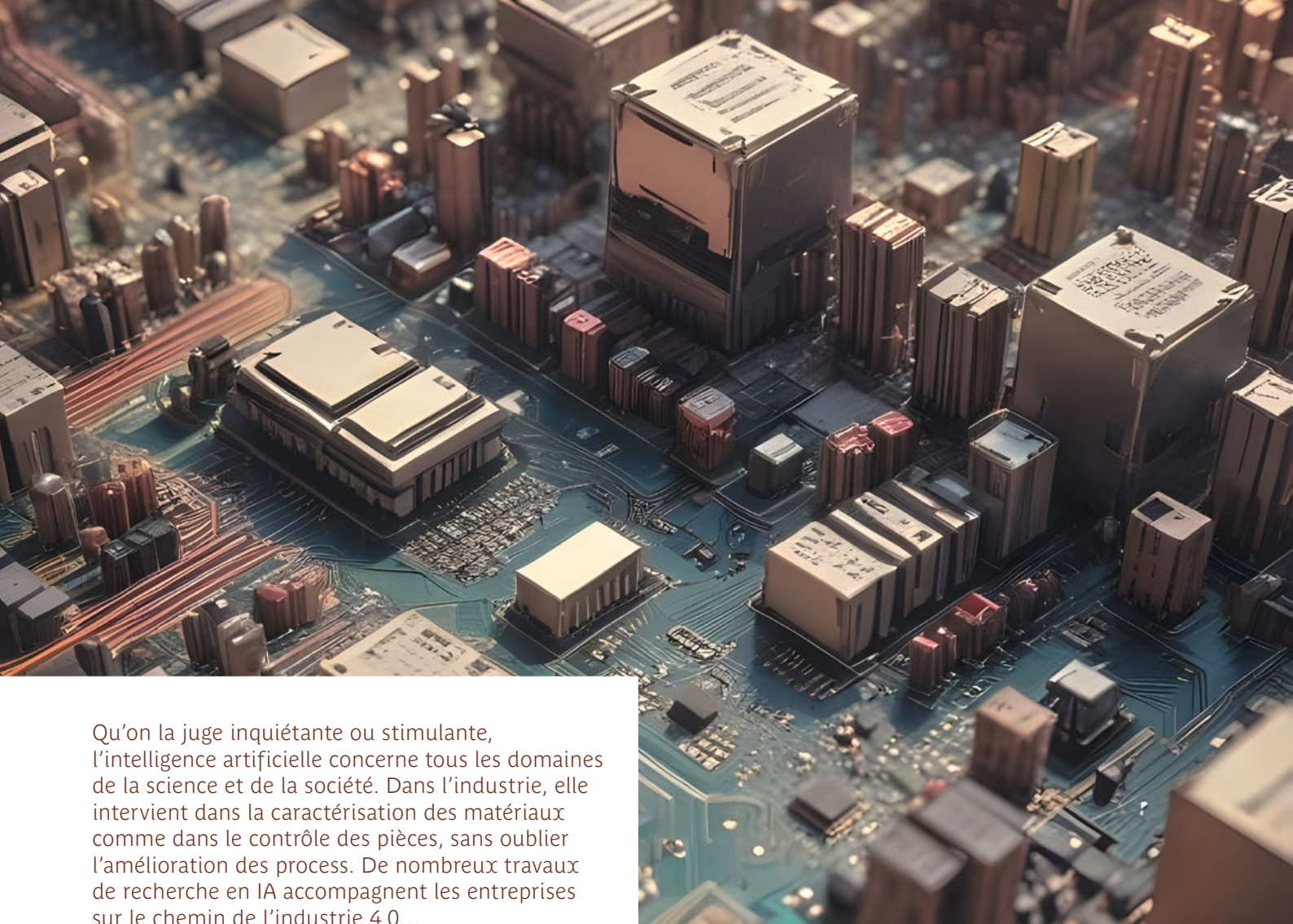
Contacts :  
 Institut FEMTO-ST / RECITS  
 Université de Franche-Comté / SUPMICROTECH / UTBM / CNRS  
 Laurent Heyberger  
 Tél. +33 (0)3 84 58 38 19  
 laurent.heyberger@utbm.fr

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

« Le défi est d'élaborer une intelligence artificielle spécifique, au service de l'histoire, pour aider à l'analyse et à l'interprétation des sources documentaires »



Extrait d'un registre de 1919, archives municipales de Belfort, 1 E 134 003



Qu'on la juge inquiétante ou stimulante, l'intelligence artificielle concerne tous les domaines de la science et de la société. Dans l'industrie, elle intervient dans la caractérisation des matériaux comme dans le contrôle des pièces, sans oublier l'amélioration des process. De nombreux travaux de recherche en IA accompagnent les entreprises sur le chemin de l'industrie 4.0...

GRAND FORMAT [ INDUSTRIE 4.0 ]

# ENTREPRISES INDUSTRIELLES & INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

## L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE, UN VASTE PROGRAMME

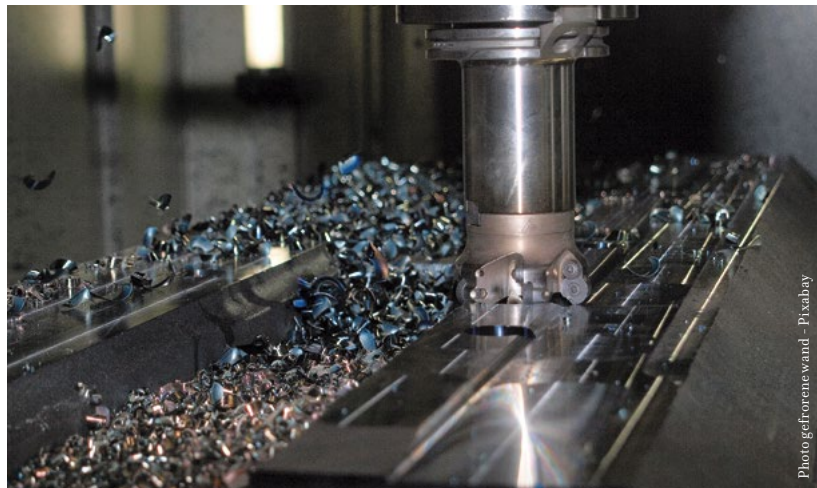
L'IA est utilisée pour le contrôle non destructif des propriétés et des comportements des matériaux

Pour imiter les compétences de l'homme à penser et agir, l'intelligence artificielle (IA) requiert des systèmes informatiques puissants, des algorithmes élaborés et en général une grande quantité de données. L'apprentissage automatique (*machine learning*) constitue un sous-ensemble de l'intelligence artificielle. Il repose sur le recueil et le traitement des données, utilisées pour entraîner un modèle qui sera ensuite capable de considérer par lui-même une problématique.

L'apprentissage automatique recourt à différentes architectures d'algorithmes, dont les réseaux de neurones constituent la famille la plus répandue. Les réseaux les plus complexes, comportant plusieurs couches interconnectées de neurones artificiels, sont à l'origine de la création d'algorithmes dits d'apprentissage profond (*deep learning*).

L'intelligence  
artificielle  
se charge  
d'organiser  
les données  
directement  
émises par  
la pièce et  
recueillies grâce  
à des capteurs,  
de manière  
à faire  
émerger des  
mécanismes  
à l'œuvre

Emmanuel Ramasso est enseignant-chercheur à SUPMICROTECH / Institut FEMTO-ST. Sa spécialité de recherche concerne l'utilisation de l'intelligence artificielle pour le contrôle non destructif des propriétés et des comportements des matériaux. « Les algorithmes que nous mettons au point sont à même de détecter des informations cachées, selon des méthodes d'apprentissage automatique que l'on qualifie de « non supervisé ». Ils permettent par exemple de détecter la nature d'événements à l'origine de la dégradation d'un matériau lors de son usinage. » L'IA est chargée d'organiser les données directement émises par la pièce et recueillies grâce à des capteurs, de manière à faire émerger des mécanismes à l'œuvre. Il s'agit par exemple de savoir à quel moment se produit une fissure dans une pièce en cours d'usinage, de comprendre la manière dont cette fissure se propage dans le matériau, et éventuellement comment elle entraîne d'autres anomalies. Des capteurs d'émissions acoustiques transmettent ici les informations : certains matériaux, comme les composites, émettent localement du bruit lorsqu'une fissure se produit. L'analyse des données vibratoires par intelligence artificielle, à laquelle Emmanuel Ramasso travaille de façon privilégiée, complète les informations communiquées à plus large échelle par des caméras infrarouges captant les émissions de chaleur produites elles aussi lors d'une fissuration, pour une analyse la plus fine possible des processus. « Combinée à des méthodes traditionnelles, l'IA permet de mieux comprendre ce qui se passe pendant le process, de caractériser l'impact des procédés sur la pièce en cours d'usinage », confirme Sébastien Thibaud, enseignant-chercheur en microfabrication mécanique à l'uFC / Institut FEMTO-ST, et responsable de la plateforme MIFHySTO.



## DE LA QUALITÉ D'UN PERÇAGE À CELLE D'UN MOULINET DE PÊCHE

Les applications de l'IA pour l'usinage concernent des domaines très variés. C'est par exemple le perçage par électroérosion, une technologie de haute précision pour laquelle l'équipe bisontine mène des recherches uniques dans la sphère académique. Dans une collaboration avec SAFRAN, à l'origine d'un dépôt de brevet, les chercheurs utilisent l'intelligence artificielle pour optimiser le perçage sur des pièces de turbines. « Ces perçages de géométries complexes et de rapports de

forme élevés entraînent une dégradation de la qualité des outils à un rythme très rapide, explique Sébastien Thibaud. Grâce aux données vibratoires traitées par IA, il est possible de monitorer le process pour être sûr que le perçage a été réalisé, de s'assurer que l'outil n'a pas été rendu défectueux avant d'avoir effectué cette opération ».

Dans un tout autre domaine, puisqu'il concerne la pêche et l'entreprise DÉCATHLON, qui sait, hormis les passionnés, que les moulinets équipant les cannes à pêche sont choisis sur la douceur de fonctionnement de leur mécanisme ? Et que ce sont des personnes aveugles qui traditionnellement se chargent de les tester et de leur attribuer des notes ?

Pour que cette tâche soit effectuée automatiquement en sortie de production grâce à un module d'IA intégré au process, c'est grâce à l'apprentissage automatique, cette fois « supervisé », que la recherche est conduite : on fournit au modèle non seulement des données, mais aussi des *a priori*, c'est-à-dire le type de résultats auxquels on veut que l'IA parvienne : ici, les notes pour qualifier la douceur de fonctionnement du moulinet. À l'issue d'une thèse réalisée dans le cadre de ce projet de recherche, un banc d'essai est devenu opérationnel en 2023 ; muni d'un accéléromètre pour mesurer la vitesse et l'accélération des vibrations lorsqu'on tourne le moulinet, ce banc assure la collecte d'un grand nombre de données vibratoires, qui, associées à un référentiel de notes, serviront à entraîner le modèle. Par la suite intégré à la chaîne de production, l'algorithme sera capable de délivrer une note à chaque moulinet en sortie de fabrication.



Photo meherestrampe - Pixabay

## INTERROGER LA MATIÈRE PREMIÈRE

La qualité des matières premières elle-même est interrogée pour être traitée par intelligence artificielle, en vue d'assurer la maintenance prédictive de procédés industriels.

Dans une thèse développée avec l'entreprise SCODER à Pirey (25) et l'Institut FEMTO-ST sous la direction de Noureddine Zerhouni, Maha Ben Ayed s'intéresse de très près aux bobines de feuilles de métal utilisées par l'entreprise, spécialisée dans la fabrication de pièces pour le secteur automobile. « Les pièces produites sont partie prenante des systèmes de sécurité des véhicules, leur qualité doit nécessairement être irréprochable », raconte

la doctorante, dont les travaux de recherche rendent des modèles capables de prédire les occurrences d'arrêts sur une machine en fonction de la qualité des bobines. C'est en lisant les caractéristiques physiques et chimiques de la matière et en rapprochant ces données des historiques d'arrêts de la chaîne de fabrication que la jeune chercheuse entraîne ces modèles par intelligence artificielle. « Il devient possible de planifier la gestion de la production en fonction de la qualité des lots de métal. Les moins bons seront confiés aux opérateurs les plus compétents pour gérer plusieurs arrêts machines, ou traités au moment où les

supports techniques sont les plus disponibles. »

Maha Ben Ayed a également préparé un modèle de *machine learning* pour que l'IA puisse juger de la conformité des pièces réalisées, dont la qualité est directement corrélée à leurs dimensions. Ce modèle prédit six cotes, retenues parmi toutes celles qui peuvent caractériser une pièce : le respect de ces cotes témoigne de la bonne conformité de la pièce. « La qualité des bobines est fidèle au cahier des charges du fournisseur. Mais elle présente une très légère et inévitable variabilité ; c'est elle que l'on traque pour voir comment elle peut impacter le processus de fabrication. »

« L'outil corrige sa position en fonction des conditions thermiques environnantes ; l'usinage peut démarrer même à froid »

## S'AFFRANCHIR DES PARAMÈTRES THERMIQUES D'UNE MACHINE-OUTIL

Les procédés d'usinage, c'est aussi le sujet qui fonde les travaux de Nabil Ouerhani, responsable du groupe Technologies d'interaction à la Haute Ecole Arc Ingénierie.

Dans le cadre du projet TherMoMac, Nabil Ouerhani travaille avec son équipe à optimiser les performances des machines, quel que soit le contexte thermique dans lequel elles se trouvent. Selon ses fonctions, une machine-outil demande en effet entre 3 h et 8 h de préchauffage pour parvenir à la stabilité thermique qui lui permettra de produire les meilleurs usinages. Grâce aux méthodes d'apprentissage automatique, les chercheurs ont entraîné un modèle prédictif pour assurer, en temps réel, la mesure de la position d'un outil et son déplacement précis. « L'outil corrige sa position en fonction des conditions thermiques environnantes ; l'usinage peut ainsi démarrer même à froid, dès la mise en route de la machine », explique Nabil Ouerhani. Différents modules, adaptés à des procédés comme le fraisage ou le décolletage, sont d'ores et déjà implémentés sur certaines machines-outils du fabricant TORNOS en Suisse, partenaire du projet TherMoMac. « Mais les résultats sont à la disposition de toutes les entreprises potentiellement intéressées, précise Nabil Ouerhani. À partir des travaux menés dans le cadre de ce projet, il

est possible de personnaliser les modules en fonction des équipements et des besoins spécifiques d'une entreprise ».

Pour adapter la solution logicielle issue de TherMoMac à chaque cas de figure, des capteurs de température relaient des informations sur le comportement thermique propre d'une machine. Ces données sont utilisées d'abord pour calibrer, puis pour entraîner le modèle, des opérations qui au total demandent quelques semaines de travail. Le logiciel est ensuite ajouté à la commande numérique pilotant la machine : il peut désormais mesurer son environnement thermique et adapter la position de l'outil d'usinage en fonction de l'évolution de sa température.



Photo Amir Balam - Unsplash

L'IA est d'un grand secours pour anticiper l'usure d'une machine ou d'un outil

## SOLUTIONS POUR UNE MEILLEURE GESTION DE LA PRODUCTION

Dans le domaine de la prédiction, l'intelligence artificielle est aussi d'un grand secours pour anticiper l'usure d'une machine ou d'un outil, et ainsi mieux superviser la production. Pour y parvenir, il est possible d'utiliser des capteurs spécialisés dans l'enregistrement de paramètres aussi différents que des intensités de vibration ou une évolution de la consommation électrique. « Choisir les bons capteurs est un processus difficile, directement lié au type de machine dont on veut assurer la maintenance, voire à la nature de la pièce elle-même », explique Nabil Ouerhani. Les modules développés par les équipes de la HE-Arc Ingénierie concernent toutes les formes d'usinage avec enlèvement de copeaux, et équipent déjà certaines lignes de production, par exemple

## ALLÉGER LES CONTRÔLES ET LES CALIBRATIONS D'OUTILS

Optimiser la gestion des ressources en personnel, c'est aussi une préoccupation pour PRÉCIJURA, spécialisée dans le décolletage de pièces de précision. L'entreprise de Champagnole (39) est déterminée à trouver des solutions pour alléger les contrôles qualité et les calibrations d'outils, devenus trop chronophages pour les opérateurs sur machines numériques.

Sous la direction de Jean-Marc Nicod à l'Institut FEMTO-ST, Valentin Sourbets travaille à répondre à ses attentes dans le cadre d'une thèse CIFRE, combinant les apports de la numérisation de documents et de l'intelligence artificielle. « L'objectif est de

proposer une solution permettant aux opérateurs de maîtriser des paramètres qui jusque-là leur étaient soit inaccessibles, soit incontrôlables », indique le jeune chercheur. Une solution *in fine* capable d'indiquer à quel moment effectuer un contrôle ou corriger, voire remplacer un outil. Première étape : construire une banque de données susceptible de réunir toutes les informations concernant la production et sa qualité, non seulement fournies par les opérateurs mais aussi en provenance des machines. La collecte et la centralisation de l'ensemble de ces données sont assurées par des logiciels pour l'essentiel réalisés au cours de la thèse ; l'installation réseau de l'entreprise a dû être

revue pour assurer la connexion des machines entre elles et avec les interfaces opérateurs. Si des développements sont encore à prévoir, le pari semble remporté pour l'entreprise comme pour le jeune chercheur. Les contrôles ont pu être placés en mode automatique, grâce à un algorithme associant la fréquence de contrôle qualité théorique à la cadence réelle de la machine. L'analyse des données qualité par IA donne la possibilité de prédire la dérive lente des pièces réalisées, et d'avertir du nombre de pièces restant à produire avant recalibrage ou remplacement de l'outil d'usinage. Autant de dispositifs pour optimiser les process et les rendre plus efficaces.

en horlogerie. Effectuer une maintenance prédictive par IA signifie qu'il devient possible de remplacer un outil au moment où cela est nécessaire, ni trop tôt pour éviter de remplacer des outils encore en bon état, ni trop tard pour ne pas compromettre la qualité des pièces produites ou risquer de perturber la chaîne de fabrication par un arrêt non planifié.

À la HE-Arc Ingénierie, les capacités du *machine learning* sont aussi exploitées par la recherche en vue de digitaliser les savoir-faire. Les modèles basés sur l'IA aident à déterminer les conditions idéales de mise en route d'une chaîne de production ou à accélérer la phase de programmation d'une pièce. Les logiciels de FAO les plus connus sur le marché, comme Mastercam, sont susceptibles de combiner leurs potentialités avec les paramètres de fonctionnement d'une machine : « Sur une ligne de production, l'assistance des logiciels permet de compenser le déficit de main d'œuvre auquel les entreprises sont aujourd'hui confrontées, et d'augmenter l'efficacité des opérateurs qualifiés », indique Nabil Ouerhani. C'est au MicroleanLab que prennent forme la plupart des projets de la HE-Arc combinant intelligence artificielle et problématiques industrielles. Ils sont ensuite développés en collaboration avec des fabricants de machines-outils et d'outils comme les Suisses TORNOS et LOUIS BELET, ou des créateurs de logiciels comme PRODUCTEC, qui commercialise GibbsCAM. « Le MicroleanLab représente un lieu privilégié et un concept adapté pour favoriser les partenariats. C'est aussi un dispositif très pertinent : il donne l'opportunité de qualifier les problématiques sur des petites machines, puis d'adapter les solutions préconisées à des équipements industriels plus importants. »



## USINES CALQUÉES EN 3D

Les données  
seront traitées  
par *machine  
learning* pour  
entraîner les  
modèles et  
obtenir des  
jumeaux  
numériques  
des usines très  
réalistes

Au siège de l'entreprise BMW à Munich, deux doctorants en informatique de l'Institut FEMTO-ST se partagent une tâche ambitieuse : reproduire les usines du constructeur automobile sous forme de modèles 3D, pour donner naissance à des jumeaux numériques qui permettront de faire des simulations sur les évolutions de la production et du parc-machine. « La difficulté première consiste à acquérir les données réelles de façon exhaustive, puis de réussir à les interpréter », pose en préambule Raphaël Couturier, responsable de l'équipe AND (Algorithmique numérique distribuée) au département DISC de l'Institut FEMTO-ST, et codirecteur des deux thèses. Car BMW souhaite disposer de modèles traduisant la réalité le plus fidèlement possible, un objectif qui impose de recourir à des technologies pointues pour collecter les données. Celles-ci seront ensuite traitées par *machine learning* pour entraîner les modèles, et obtenir des jumeaux numériques des plus réalistes. « Il s'agit de pousser à son maximum la représentation d'une machine et de son fonctionnement, en tenant compte, par exemple, du vieillissement des outils, dont les déformations visualisées en 3D seront intégrées aux modèles. »



La technologie LIDAR est ici mise à contribution, par le biais de capteurs qui passent au crible les environnements industriels visés pour en établir une cartographie numérique. Si les lasers dont les capteurs sont équipés sont parfaits pour scanner ce qu'ils ont devant eux avec une grande précision, ce sont des images sous forme de nuages de points qui sont restituées. Des millions de points à rassembler et à traiter au moyen de l'IA, pour recréer virtuellement des objets en 3D et bâtir des modèles plus vrais que nature.

## L'IA, POUR AMÉLIORER LA MICROSCOPIE HOLOGRAPHIQUE

Dans le projet HOLO-CONTROL, estampillé 100 % FEMTO-ST, des chercheurs en informatique, optique, robotique, automatique et mécanique réunissent leurs compétences pour améliorer les performances de la microscopie holographique, en utilisant les réseaux de neurones artificiels. La microscopie holographique est

développée pour les besoins de la microrobotique : la caméra capte les déplacements des micro-objets dans plusieurs directions de l'espace pour les retranscrire sous forme d'images. « À FEMTO-ST, nous construisons l'algorithme qui permettra de détecter le positionnement d'un échantillon selon six angles de liberté »,

explique Raphaël Couturier. Les apports de l'IA sont ici indispensables pour pouvoir mesurer la position des objets à l'échelle du micro-, voire du nanomètre, en temps réel. Débuté fin 2021 pour quatre ans, HOLO-CONTROL est un projet financé par l'Agence nationale de la recherche (ANR).

Les sujets abordés en formation sont nombreux, en raison autant des possibilités qu'offrent les nouvelles technologies numériques que de la variété des activités industrielles

## UN VIRAGE DIFFICILE À NÉGOCIER

Si certaines entreprises sont très à l'aise avec le concept d'intelligence artificielle, d'autres ne sont pas prêtes à l'intégrer, ne voient pas d'intérêt pour leur activité ou se sentent démunies : « La connaissance des entreprises sur l'IA ne correspond pas toujours à ce qu'est sa réalité, et ce décalage est souvent entretenu par les informations trop approximatives relayées dans les médias », remarque Stéphane Galland, enseignant-chercheur en IA à l'UTBM et directeur du laboratoire CIAD (Connaissance et intelligence artificielle distribuées). Par le biais de présentations ou d'ateliers organisés dans le cadre des activités du consortium DEDIHCATED BFC (voir encart), Stéphane Galland communique sur l'IA de façon adaptée à l'entreprise. Détecter les défauts d'une pièce par l'analyse d'images depuis une machine-outil, intégrer les connaissances métier dans des modèles numériques, rendre intelligentes des lignes de production pour qu'elles prennent en compte une multitude de contraintes de fabrication..., les sujets abordés sont nombreux, en raison autant des possibilités qu'offrent les nouvelles technologies numériques que de la variété des activités industrielles. Cette sensibilisation passe aussi par les projets de recherche intégrant des solutions d'IA, développés au CIAD en lien direct avec les entreprises, comme avec les sociétés THIPISEE, pour la sécurisation des données utilisateurs sur *smartphone*, ou X'Plan Research, pour l'optimisation de la planification, par exemple dans le cadre de l'organisation d'un chantier. Les équipes du CIAD se sont spécialisées dans le concept d'intelligence artificielle hybride : « Les solutions développées dans les projets menés avec les entreprises combinent différentes branches de l'IA, afin de pouvoir répondre au plus juste à leurs besoins », explique

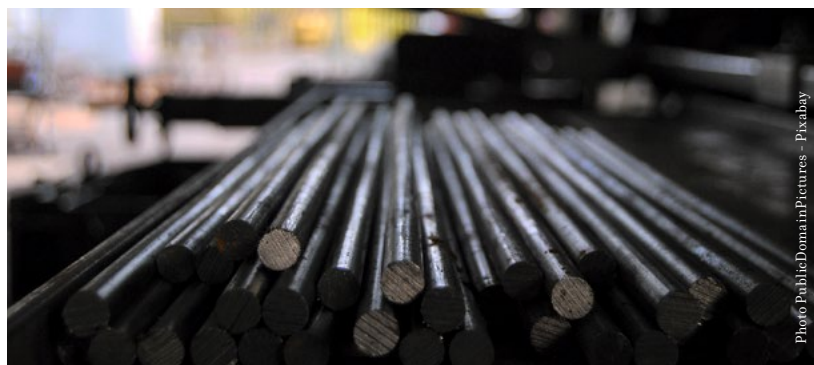


Photo PublicDomainPictures - Pixabay

## DEDIHCATED BFC : UN PROGRAMME DÉDIÉ AUX ENTREPRISES

Amorcer le virage vers l'industrie 4.0 n'est pas toujours facile pour les entreprises, d'autant plus pour les PME et PMI. Intelligence artificielle, cybersécurité, calcul haute performance..., c'est pour les aider à intégrer la culture de l'industrie 4.0 et à opérer peu à peu les changements de paradigmes nécessaires pour s'engager dans

cette évolution que le consortium DEDIHCATED BFC est né.

Le dispositif prévoit la mise en place d'un « guichet unique du numérique », donnant aux entreprises la possibilité de suivre différents parcours thématiques en fonction de leur maturité numérique.

Officiellement lancé en avril 2023, DEDIHCATED BFC est un projet

européen soutenu par la Région Bourgogne-Franche-Comté. Il est piloté par le Pôle Véhicule du Futur, qu'accompagnent douze partenaires : Nuclear Valley, Vita-gora, BFC Numérique, Numerica BFC, Usinerie Partners, Amvalor (Ensam), Université de Bourgogne, Université de Franche-Comté, UTBM, Cetim, Cap'tronic, CCI Bourgogne - Franche-Comté.

Stéphane Galland. Les solutions générées par IA hybride permettent par exemple d'augmenter la performance des mécanismes de raisonnement utilisés dans les véhicules autonomes, ainsi qu'en robotique ou sur les chaînes de production, pour de meilleurs résultats.

## LA SÉCURITÉ, POUR LES DONNÉES COMME POUR LES SYSTÈMES

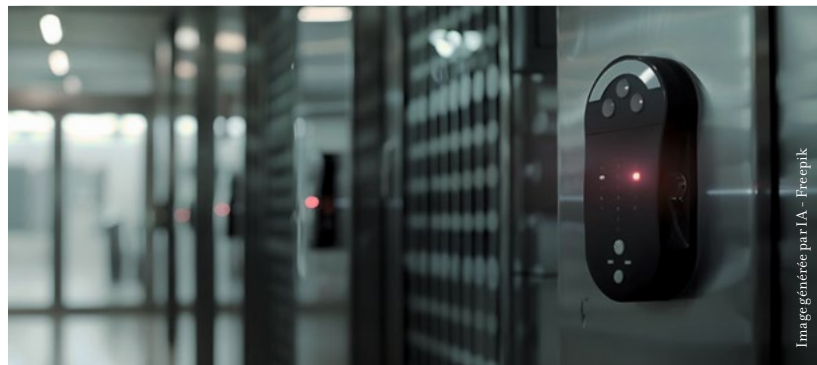


Image générée par IA - Freepik

### Contacts :

Institut FEMTO-ST  
UFC / SUPMICROTECH / UTBM / CNRS  
Département Mécanique appliquée  
Emmanuel Ramasso / Sébastien Thibaud  
Tél. +33 (0)3 81 66 69 49 / 66 11  
emmanuel.ramasso@femto-st.fr  
sebastien.thibaud@univ-fcomte.fr

Département AS2M – Automatique et  
systèmes micro-mécatroniques  
Maha Ben Ayed / Valentin Sourbets  
maha.benayed@femto-st.fr  
valentin.sourbets@femto-st.fr

Département DISC – Sciences  
informatiques  
Raphaël Couturier  
Tél. + 33 (0)3 84 58 77 86  
raphael.couturier@univ-fcomte.fr

Haute Ecole Arc Ingénierie  
Groupe Technologies d'interaction  
Nabil Ouerhani  
Tél. +41 (0)32 930 22 08  
nabil.ouerhani@he-arc.ch

Groupe Analyse de données  
Marcelo Pasin  
Tél. +41 (0)32 930 25 75  
marcelo.pasin@he-arc.ch

Laboratoire CIAD – Connaissance et  
intelligence artificielle distribuées  
UTBM / UB  
Stéphane Galland  
Tél. +33 (0)3 84 58 34 18  
stephane.galland@utbm.fr

Université de Neuchâtel  
Institut d'informatique  
Pascal Felber  
Tél. +41 (0)32 718 27 09  
pascal.felber@unine.ch

Jâmes Ménétrety  
Tél. +41 (0)32 718 27 16  
james.menetrey@unine.ch

Quelles que soient les architectures et technologies employées, l'intelligence artificielle doit nécessairement s'accompagner de la plus grande sécurité possible pour la protection des données et des systèmes. Comme l'a rappelé de manière forte la panne informatique mondiale du 20 juillet dernier, les technologies de sécurité ne sont pas exemptes de vulnérabilité. Et le *cloud* n'apparaît pas comme une panacée pour protéger les données, susceptibles d'y être exploitées de façon malveillante. Dans le projet européen VEDLIoT, les chercheurs s'attachent à développer des solutions de proximité pour le traitement des données, plus facilement contrôlables que les services *cloud*, alors que l'internet des objets promet une automatisation et un échange de données généralisés. Dans le cadre de ce projet, Jâmes Ménétrety termine sa thèse en cybersécurité sous la direction de Pascal Felber, directeur de l'Institut d'informatique de l'université de Neuchâtel, et de Marcelo Pasin, du groupe Analyse de données à la Haute Ecole Arc. Le jeune chercheur travaille à l'amélioration de la sécurité des systèmes basés sur l'intelligence artificielle, à l'aide d'environnements d'exécution de confiance (TEE), aussi appelés « enclaves », et de WebAssembly, un standard moderne pour le développement d'applications.

L'utilisation des enclaves pour protéger l'exécution d'un programme est aujourd'hui très prisée par les entreprises travaillant avec le *cloud* et celles développant des téléphones. Ces enclaves isolent les informations contenues dans un programme par une assistance matérielle du processeur et des techniques cryptographiques, un procédé qui consiste à les marquer d'une empreinte infalsifiable, donnant ensuite la possibilité à une machine distante de s'assurer de leur authenticité. « Cependant la technologie n'est pas facile à exploiter et impacte la conception d'un programme. L'objectif de ma thèse est de rendre le recours aux TEE plus accessible aux développeurs lorsqu'ils créent un programme, grâce à l'utilisation de WebAssembly, un standard permettant de limiter la complexité de programmation pour les applications s'exécutant dans ces environnements de confiance », explique le jeune chercheur. Ces travaux entrent dans le domaine du *confidential computing*, qui utilise les TEE pour garantir la sécurité des données traitées sur de petits appareils de proximité, à l'instar de ce qui est fait dans le *cloud*.



## 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](mailto:Journal-EnDirect@univ-fcomte.fr)  
[endirect.univ-fcomte.fr](http://endirect.univ-fcomte.fr) | Directrice de la publication : Macha Woronoff  
Rédaction, composition : Catherine Tondou | Diffusion, site web : Julie Brandelik  
Conception graphique et création des visuels de couverture : Gwladys Darlot  
Impression : L'imprimeur Simon, Ornans / Imprim'vert.

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

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

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

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

**Université de Neuchâtel<sup>1</sup>** | Avenue du 1<sup>er</sup> mars 26 | CH - 2000 Neuchâtel  
Recteur : Kilian Stoffel | Tél. +41 (0)32 718 10 20

**Haute Ecole Arc<sup>1</sup>** | Espace de l'Europe 11 | CH - 2000 Neuchâtel  
Directrice : Brigitte Bachelard | Tél. +41 (0)32 930 11 11

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

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

Avec le soutien 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](http://endirect.univ-fcomte.fr)