

en DIRECT

LE JOURNAL DE LA RECHERCHE ET DU TRANSFERT DE L'ARC JURASSIEN - NUMÉRO 317 - MARS - AVRIL 2025

GRAND FORMAT [MISE EN LUMIÈRE]

Le phénomène quantique

ÉTUDE CLINIQUE

Variations de glycémie et complications post-opératoires

RAYON PLANTES

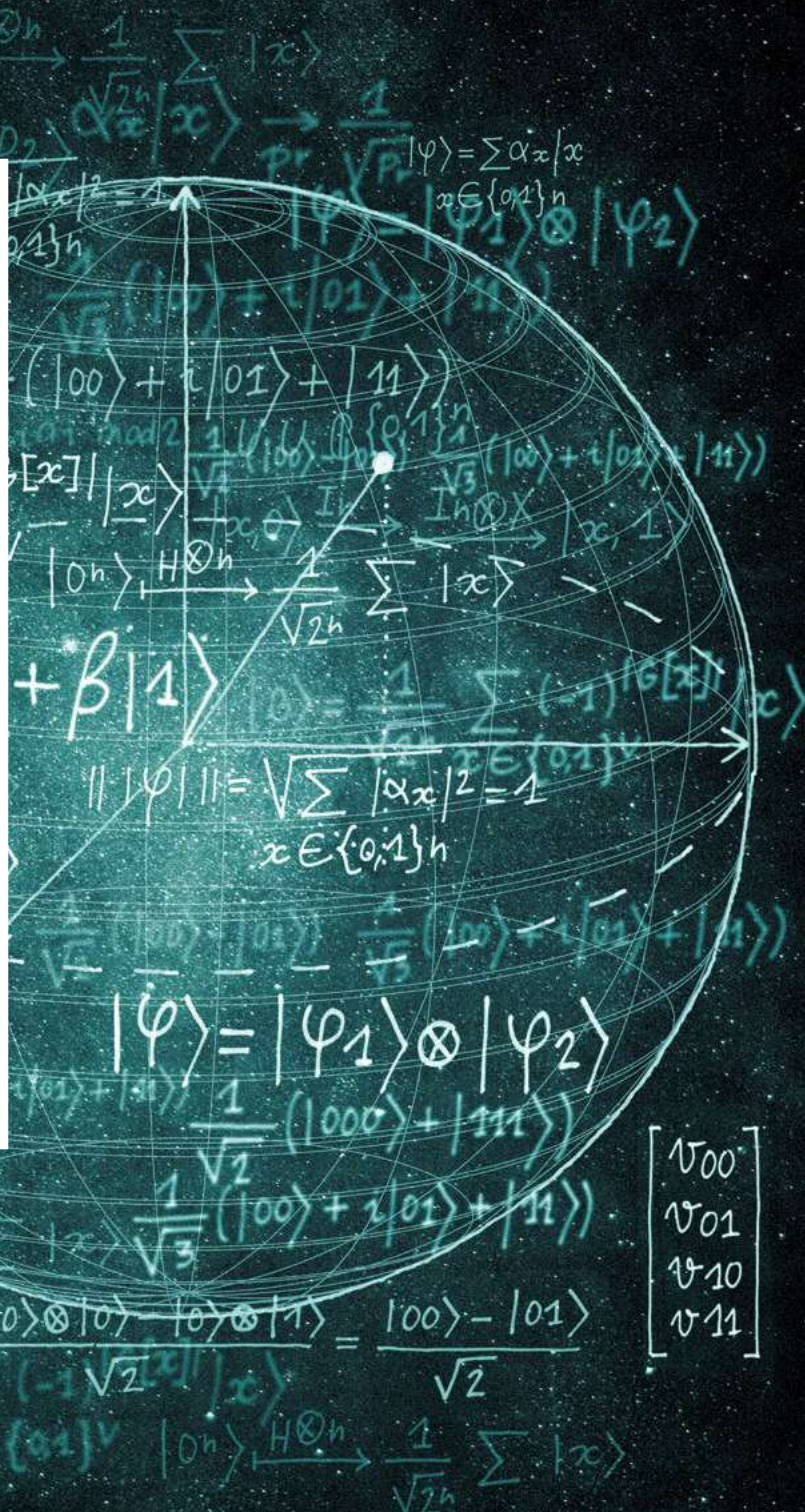
Un livre pour tout connaître du chanvre

INSTANT [PHILO]

Débattre pour de vrai et pour le bien de la démocratie

SOCIO-[HISTOIRE]

Les physiciens, pionniers de la science moderne



EN DIRECT

NUMÉRO 317 - MARS-AVRIL 2025

3 | ACTUALITÉS

- SAMI, pour des capteurs de surveillance nouvelle génération
- Variations de glycémie et complications post-opératoires
- Des champignons-autoroutes pour soigner les plantes à la racine
- Des espaces de biodiversité au coeur des plantations de palmiers à huile
- Réseaux de neurones + modélisation probabiliste = prévisions météo plus précises
- *Silver Aging*, l'innovation en faveur des seniors
- Rencontres en ligne : comment ça matche ?
- *Solutré*, jeu sérieux, amusant et récompensé
- Une autre idée de l'hydrogène
- Un livre pour tout connaître du chanvre

12 | INSTANT [PHILO]

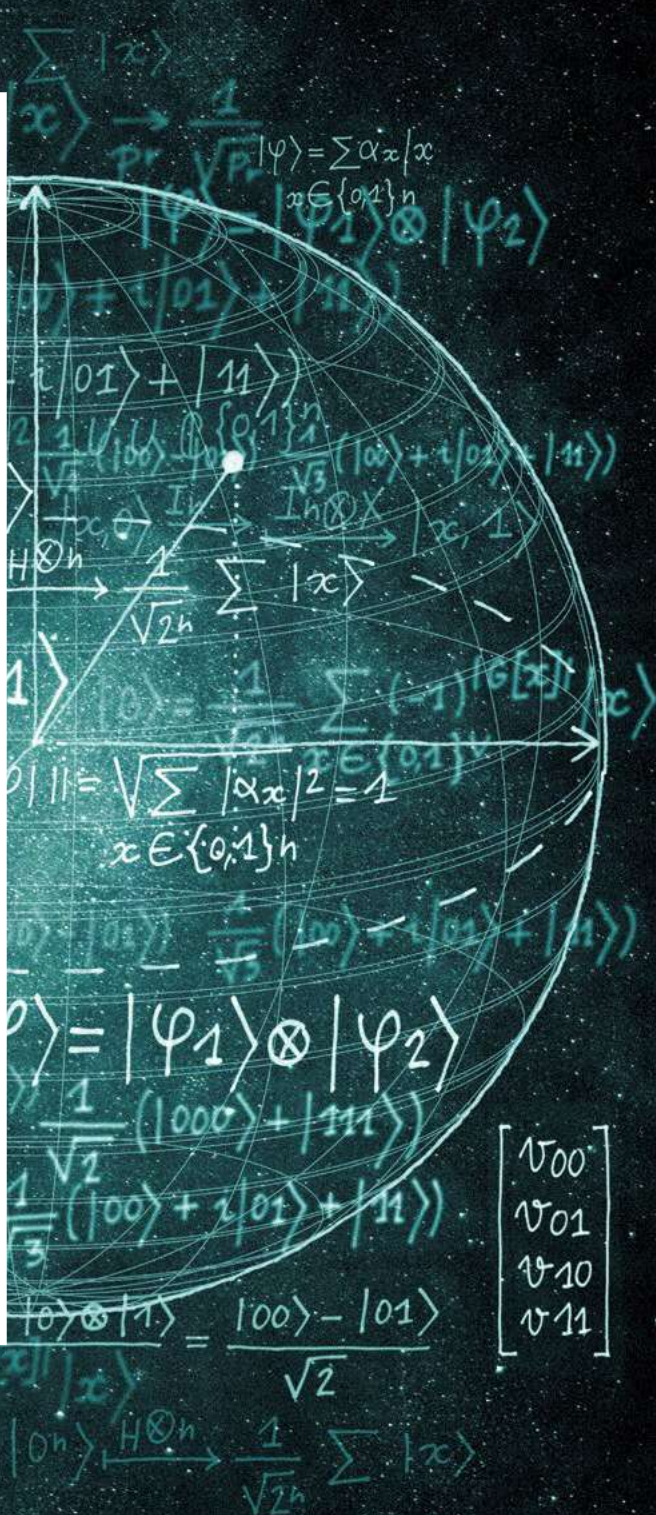
Débattre pour de vrai et pour le bien de la démocratie

14 | SOCIO-[HISTOIRE]

Les physiciens, pionniers de la science moderne

16 | GRAND FORMAT [MISE EN LUMIÈRE]

Le phénomène quantique



TECHNOLOGIE

SAMI, POUR DES CAPTEURS DE SURVEILLANCE NOUVELLE GÉNÉRATION

Ponts, bâtiments, canalisations, avions, engins spatiaux..., dans les domaines militaire et aéronautique, la surveillance des structures est fondamentale pour la sécurité et la sûreté de fonctionnement des systèmes et des architectures. La surveillance s'opère notamment grâce à des capteurs micromécaniques issus de la technologie ChronoMEMS®, développée par l'entreprise SilMach à Besançon. Cette technologie intéresse également d'autres secteurs d'activité, comme les transports, le bâtiment, le génie civil, l'énergie, la santé ou encore l'alimentation, mais le transfert vers ces champs d'application nécessite de retravailler le concept ChronoMEMS® : il s'agit de rendre les capteurs plus accessibles en termes de coût et de mise en œuvre, tout en leur garantissant un impact carbone le plus faible possible. Ce sont là les objectifs du projet européen SAMI¹, qui vient de débiter pour quatre ans et compte pour partenaires SilMach, pilote du projet, l'UMLP (ex-université de Franche-Comté) et SUPMICROTECH. SAMI promet de nouveaux développements à une technologie qui depuis des années fait ses preuves, pour laquelle 68 brevets ont été délivrés dans 17 pays et 11 nouvelles demandes de dépôts de brevets sont en cours.

SURVEILLANCE EN TEMPS RÉEL

Directement activés par une déformation de la structure sur laquelle ils sont installés,

les capteurs ChronoMEMS® fonctionnent sans énergie et assurent une surveillance en temps réel. Ils sont capables de détecter et de comptabiliser n'importe quel événement mécanique dépassant un seuil de tolérance prédéfini, et grâce à différentes déclinaisons du concept, d'enregistrer des variations thermiques, des changements de pression ou des chocs répétés.

« Le projet SAMI permettra de revoir l'architecture actuelle des capteurs, d'y intégrer des fonctions communicantes et de nouveaux principes sensoriels, en développant des procédés de microfabrication innovants », explique Samuel Queste, docteur en sciences des matériaux, responsable des techniques de gravure sèche par plasma à l'Institut FEMTO-ST, et porteur du projet pour l'UMLP.

« Le nombre de composants, qui peut atteindre jusqu'à 80 pièces dans certains systèmes, sera réduit pour faire baisser les coûts, cela grâce aux moyens de conception et de fabrication en microtechnique et traitement de surface de la centrale MIMENTO et de la plateforme MIFHySTO. » Certains procédés, comme le polissage des surfaces par laser CO₂ ou la gravure chimique des métaux, seront stimulés grâce aux recherches menées dans le cadre de SAMI.

De nouveaux équipements vont par ailleurs s'ajouter aux parcs machines des plateformes, comme un microscope à

infrarouge pour la visualisation de gravures de motifs à travers une couche de silicium, et un bain de cuivre pour l'électrodéposition de métal sur de très fines connexions. À terme, les capteurs ChronoMEMS® nouvelle génération seront plus petits, moins coûteux, facilement consultables,



Capteur ChronoMEMS®

interrogeables à courte distance, et même à moyenne et longue distance grâce à des modules de connectivité spécifiques. Ils seront alors adaptés à de nombreuses applications dans les domaines ciblés.

¹ D'un montant total de 6 millions d'euros, SAMI est financé par l'Union européenne à hauteur de 4,3 millions d'euros de Fonds européen de développement régional, à travers le programme FEDER-FSE+ Bourgogne - Franche-Comté et Massif du Jura 2021-2027 géré par la Région Bourgogne - Franche-Comté.

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

ÉTUDE CLINIQUE

VARIATIONS DE GLYCÉMIE
ET COMPLICATIONS POST-OPÉRATOIRES

Après une chirurgie cardiaque, comme un pontage ou la pose de valves, le taux de sucre dans le sang augmente en raison du stress physiologique que génèrent de telles opérations. Cette hyperglycémie transitoire peut entraîner des complications, responsables d'une hausse de la morbidité et de la mortalité des patients. Le protocole post-opératoire de routine prévoit l'administration d'insuline pendant 48 heures, pour amener le taux de sucre en dessous d'un seuil critique pour la santé. Mais l'insuline ne peut corriger la

majeure ou une réanimation, il explique : « Le taux de sucre dans le sang peut, à plusieurs reprises, baisser ou remonter brutalement et de manière significative, parfois en quelques secondes. Cet effet yoyo est source de problèmes post-opératoires, et cela même si le taux de sucre est inférieur au seuil de référence ». Les recherches que Guillaume Besch mène avec son équipe sont pour l'instant encore très exploratoires. Elles s'orientent sur un possible lien de cause à effet entre la

thérapeutiques pour mieux prévenir les complications post-opératoires », précise Guillaume Besch. L'étude clinique CAESAR a été engagée dans cet objectif au CHU de Besançon. Menée auprès de 115 patients, elle vient de livrer ses premiers résultats et confirme les hypothèses posées en préambule par les chercheurs. L'étude met ainsi en évidence que la variabilité glycémique la plus importante avant l'opération s'observe chez les patients diabétiques, et plus encore, à l'intérieur de cette population,

chez les personnes habituellement traitées avec de l'insuline. Elle montre également clairement que la variabilité glycémique de ces patients après une chirurgie cardiaque est directement corrélée à celle qu'ils présentaient avant l'intervention. « Chez les personnes diabétiques traitées avec de l'insuline, la variabilité glycémique à l'état basal, c'est-à-dire

avant l'intervention, pourrait ainsi constituer une nouvelle cible thérapeutique pour l'amélioration du pronostic de cette population. »

variabilité de la glycémie, dont les impacts sont également préjudiciables. Guillaume Besch est praticien hospitalier en anesthésie et réanimation au CHU de Besançon, enseigne sa discipline à l'UFR Santé et mène ses recherches au laboratoire Sinergies de l'université Marie et Louis Pasteur. Spécialiste de la perturbation du contrôle glycémique après une chirurgie

variation de la glycémie et un dysfonctionnement de l'endothélium vasculaire ou une perturbation du système nerveux autonome, deux explications avancées pour expliquer la survenue de complications. « Le but est de comprendre les mécanismes à l'œuvre et de reconstituer les voies métaboliques impliquées. À partir de là, il sera envisageable d'identifier des cibles



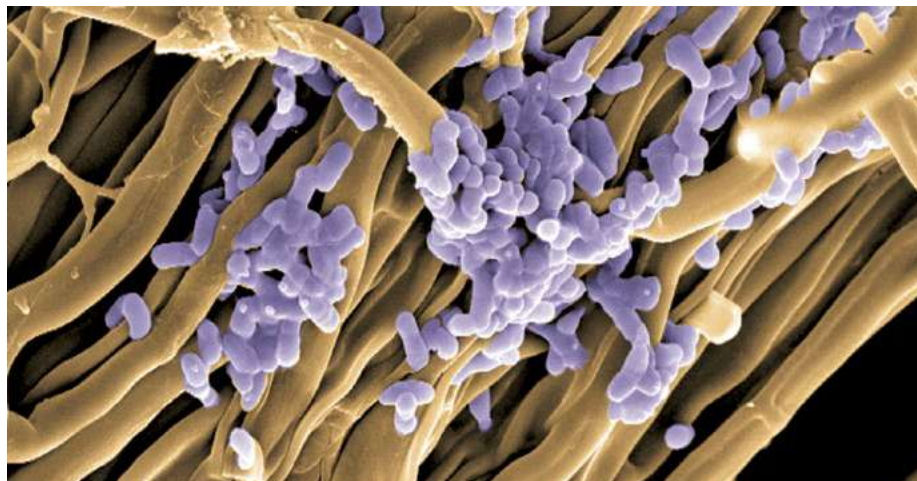
Photo: Tofirquibardhuia - Unsplash

Contact :
Laboratoire Sinergies – Soins intégrés,
nanomédecine, IA & ingénierie pour la
santé
Université Marie et Louis Pasteur
Guillaume Besch
guillaume.besch@univ-fcomte.fr

ŒUVRE COLLECTIVE

DES CHAMPIGNONS-AUTOROUTES
POUR SOIGNER LES PLANTES À LA RACINE

13 %, c'est la proportion de pertes agricoles dues à des champignons pathogènes chaque année dans le monde. Le rhizoctone brun qui fait pourrir les laitues et la sclérotiniose qui affecte les endives sont les cibles prioritaires d'un projet de recherche collaboratif¹ visant à mettre en œuvre des solutions durables de lutte contre les champignons pathogènes du sol. Les fongicides de synthèse sont nocifs pour les écosystèmes et la santé humaine, et leur utilisation systématique provoque un phénomène de résistance. Les fongicides naturels sont plus respectueux de l'environnement, mais font preuve d'une moindre efficacité, notamment dans le sol. Dans ce contexte, des chercheuses de l'université de Neuchâtel, de la HE-Arc Ingénierie et du FiBL, l'Institut suisse de recherche en agriculture biologique, ont décidé d'explorer une troisième voie, fondée sur le recours aux réseaux souterrains que produisent des champignons, inoffensifs ceux-là. L'existence de ces « autoroutes fongiques » a été mise en évidence par des recherches en écobiologie microbienne du sol. Les réseaux sont formés par des filaments que produisent les champignons, les hyphes, et sont empruntés par certaines bactéries pour se déplacer. Les chercheuses entendent reproduire ce phénomène en développant des « champignons-autoroutes » à même de transporter, jusqu'aux racines, des bactéries réputées pour leur action sur les



Vue au microscope d'une colonie de bactéries (colorisées en mauve) sur des hyphes de champignons (en jaune). Photo UniNE - Saskia Bindschedler

moisissures qui attaquent les plantes. Une diffusion ciblée, efficace, et sans impact délétère sur les écosystèmes. « En pratique, les bactéries bénéfiques, associées à un champignon-autoroute, sont enfermées dans une microcapsule, le temps que tous deux parviennent à leur environnement cible. Une fois dans le sol, le champignon-autoroute brisera la barrière de la microcapsule et pourra déployer ses hyphes, créant ainsi un pont pour permettre aux bactéries d'atteindre leur cible », expliquent les chercheuses. Mettre au point un tel dispositif requiert des compétences pointues et complémentaires. À l'UniNE, la biologiste Saskia Bindschedler et ses collègues auront pour mission première de faire émerger les bonnes combinaisons entre un champignon et des bactéries réputées pour leur efficacité sur les moisissures visées. À la HE-Arc Ingénierie, l'équipe d'Alexandra Kämpfer-Homsy, spécialiste des systèmes microfluidiques, se chargera

de la micro-encapsulation du dispositif, en recourant à des matériaux totalement naturels. Enfin au FiBL, la chercheuse en sciences des sols Natacha Bodenhausen et ses collègues testeront l'efficacité des champignons-autoroutes par le biais d'expériences réalisées en pot et en plein champ. « L'institut procédera également au suivi génétique des communautés microbiennes qui se développeront aux alentours des racines des plantes à protéger, afin de s'assurer que l'environnement non ciblé par le remède soit bien préservé. »

Contacts :

Université de Neuchâtel
Saskia Bindschedler
Tél. + 41 (0)32 718 22 52
saskia.bindschedler@unine.ch

HE-Arc Ingénierie
Alexandra Kämpfer-Homsy
Tél. +41 (0)32 930 25 53
alexandra.kaempfer-homsy@he-arc.ch

FiBL
Natacha Bodenhausen
Tél. +41 (0)62 865 72 99
natacha.bodenhausen@fibl.org

¹ Débuté en janvier 2025 pour une durée de quatre ans, ce projet est soutenu par le Fonds national suisse qui l'a doté d'un budget d'1,9 million de francs.

FORÊT RÉSILIENTE

DES ESPACES DE BIODIVERSITÉ AU CŒUR DES PLANTATIONS DE PALMIERS À HUILE

Déforestation et monoculture ne font pas bon ménage avec la notion de biodiversité.

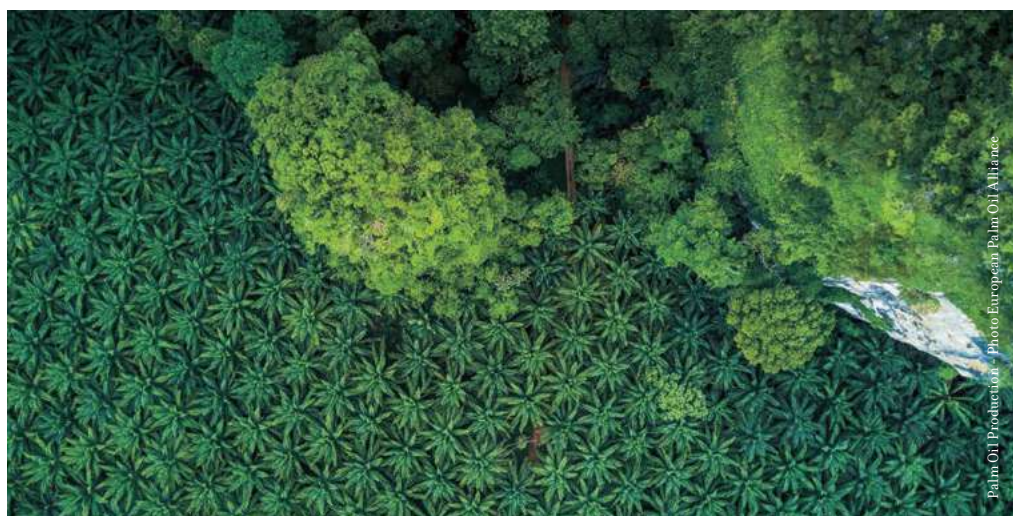
Un constat évident et d'autant plus tragique qu'il concerne des zones réputées pour la variété

ont plantés, sans gêne pour les palmiers (voir *en direct* n°308, septembre-octobre 2023).

La croissance de ces arbres, atteignant aujourd'hui jusqu'à 15 mètres de hauteur, s'est

grandes, et où les plantations d'essences locales ont été les plus diversifiées au départ, que l'établissement spontané d'autres espèces autochtones est le plus varié. Cette diversité

se constate également en termes de traits fonctionnels et de lignées. Il est surprenant que la qualité du sol et la superficie des îlots soient les facteurs exerçant la plus grande influence, surtout pour les espèces endémiques ou celles qui,



Palm Oil Production - Photo European Palm Oil Alliance

des espèces qu'elles abritent. C'est le cas des forêts tropicales d'Asie du Sud-Est, dont des millions d'hectares ont été décimés pour faire place à la culture des palmiers à huile. Si la priorité est bien sûr de stopper ce processus destructeur, tenter de restaurer une partie de la biodiversité perdue est un acte également salutaire. C'est ce qu'une équipe internationale de chercheurs expérimente sur le territoire du premier pays producteur d'huile de palme au monde, l'Indonésie, et plus précisément sur l'île de Sumatra. Dans le cadre du projet EFForTS-BEE¹ lancé en 2013, les chercheurs ont planté des essences locales dans des îlots disséminés au cœur des plantations de palmiers. Ils ont enregistré de francs succès, constatant le bon développement des arbres qu'ils

accompagnée d'une régénération naturelle des îlots, avec l'apparition spontanée d'autres arbres autochtones, et même d'espèces endémiques de la région. Résultat : la biodiversité, si elle n'est pas aussi foisonnante qu'à l'origine, a repris ses droits, et dans une certaine mesure, les fonctionnements écosystémiques ont été restaurés. Aujourd'hui, la quête des chercheurs se poursuit pour identifier les facteurs les plus favorables à la régénération naturelle.

Delphine Clara Zemp, directrice du laboratoire de biologie de la conservation à l'université de Neuchâtel et codirectrice de la Zone atelier de l'Arc jurassien (ZAAJ), fait partie de l'équipe : « L'étude montre que, sur les 52 îlots disséminés sur les 120 hectares de palmeraies, c'est dans les parcelles les plus

en principe, sont inféodées aux forêts. »

Les résultats prometteurs de cette étude ont été publiés dans la prestigieuse revue *Science* en novembre 2024.

Les chercheurs attirent cependant l'attention sur les limites de l'expérience, qui ne saurait suffire à recréer la biodiversité originelle de la forêt tropicale : protéger les parcelles restées intactes demeure un impératif.

¹ EFForTS-BEE réunit des chercheurs des universités de Göttingen (D), pilote du projet, et de Neuchâtel, ainsi que des universités IPB, de Bogor et de Jambi, en Indonésie.

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

MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES

RÉSEAUX DE NEURONES + MODÉLISATION PROBABILISTE = PRÉVISIONS MÉTÉO PLUS PRÉCISES

Quel temps va-t-il faire demain ?
Ce week-end, la semaine
prochaine ?...

Pour répondre jour après jour
à ces questions, Météo-France
fonde ses prévisions sur
des modèles numériques,
eux-mêmes nourris des dizaines
de millions de données issues
d'observations et de mesures
effectuées quotidiennement.
La survenue d'événements
extrêmes, trop souvent
responsables de catastrophes
humaines et économiques,
atteint cependant les limites
de précision de la prévision
météorologique.



Photo NOAA - Unsplash

recherche se sont penchés, entre
autres, sur cette problématique.
L'équipe de Clément Dombry,
directeur du Laboratoire de
mathématiques de Besançon,
pilote du projet, a combiné
modélisation probabiliste et
outils d'intelligence artificielle
pour assurer un post-traitement
statistique des prévisions météo,
et ainsi les rendre plus précises.
Développement du modèle
théorique, application au
domaine de la météo et vali-
dation sur les données réelles
ont constitué les trois étapes clés
de la recherche.

« Pour affiner les prévisions
fournies par
les modèles
numériques à une
échelle locale, le
réseau de neurones
U-NET s'est avéré
très pertinent,
parce qu'il donne
la possibilité de
quantifier les
incertitudes en
prenant en compte
la dimension
spatiale de la
prévision. Le
recours à cet outil
d'intelligence
artificielle a été
central dans le
travail de thèse
effectué par
Romain Pic,
le doctorant de
l'équipe », explique
Clément Dombry.

Dans le projet T-REX, financé
par l'Agence nationale de la
recherche (ANR) et qui s'est
clôturé fin 2024 au terme
de quatre ans de travail, des
spécialistes de la prévision
de différents organismes de

Entre mathématiques et
informatique, et à partir des
relevés de température, pression
et autres paramètres fournis
par les modèles météo, U-NET
a aidé à préciser les probabilités
d'occurrence de précipitations

extrêmes sur le quart sud-
est de la France, selon des
grilles de répartition spatiale
plus fines que celles que les
modèles numériques peuvent
habituellement produire.
La prévision d'épisodes
cévenols formulée *a posteriori*
selon cette méthode a été
confrontée à la réalité des
événements observés sur
les dix dernières années :
la comparaison a permis
de valider la méthode, un
succès relayé par plusieurs
publications scientifiques.
Ces recherches posent les bases
d'une méthodologie innovante
et probante pour améliorer
la prévision des événements
extrêmes en météorologie,
et constituent un préliminaire
avant un développement
opérationnel chez Météo-
France.

*Le consortium T-REX :
Laboratoire de mathématiques
de Besançon (LmB), pilote du projet,
Institut Camille Jordan (ICJ - Lyon1),
Laboratoire des sciences du climat
et de l'environnement (LSCE - Paris-Saclay),
Centre national de recherches
météorologiques (CNRM),
Laboratoire traitement et communication
de l'information (LTCI - Télécom Paris),
Laboratoire de probabilités, statistique et
modélisation (LPSM - Sorbonne université),
EDF Lab Paris-Saclay.*

Contact :
Laboratoire de mathématiques
de Besançon – LmB
UMLP / CNRS
Clément Dombry
Tél. +33 (0)3 81 66 63 25
clement.dombry@univ-fcomte.fr

INITIATIVE

SILVER AGING, L'INNOVATION EN FAVEUR DES SENIORS

Ce n'est un mystère pour personne, le vieillissement de la population pose des défis qu'il est nécessaire de relever, pour assurer une santé et une qualité de vie les meilleures possible aux aînés.

Le projet *Innovation Booster Silver Aging*¹ porté par la Haute Ecole Arc Santé se positionne nettement en faveur de cet objectif. Sélectionné par l'agence fédérale de financement de l'innovation Innosuisse, *Silver Aging* est un dispositif collaboratif répondant à des besoins bien identifiés.

« La plateforme réunit de multiples acteurs, entrepreneurs, chercheurs, professionnels de santé, proches aidants et bien sûr les premiers concernés, les personnes âgées, autour d'une dynamique et d'une volonté communes de développer des solutions pour améliorer la qualité des soins et de vie de nos aînés », explique Daniel Cefai, immunologiste de formation et responsable du projet à la HE-Arc Santé.

L'*Innovation Booster Silver Aging* organise des ateliers thématiques sur l'ensemble du territoire suisse, visant à cerner les besoins et à créer des équipes qui pourront imaginer des solutions en réponse. Après évaluation et validation par des experts indépendants, les propositions retenues sont financées et développées dans le cadre d'un travail collectif, une gestation d'environ 6 à 9 mois. « Les budgets, dont le plafond est fixé à 25 000 francs suisses par projet, permettent de tester la faisabilité, la viabilité et surtout



Photo FuShu - Pixabay

l'acceptabilité des solutions envisagées. Le dispositif donne par exemple l'opportunité à une future *start-up* de tester un marché potentiel, ou à un concepteur de réaliser une étude technique sur des prototypes. » Les solutions numériques étaient au programme des ateliers organisés en 2024. L'autonomisation, au sens large, des personnes âgées, en sera la problématique centrale cette année. Une fois élu, chacun des projets est porté par une équipe constituée d'au moins trois partenaires suisses, l'un académique, le deuxième issu du domaine industriel ou technique, et le dernier représentant les usagers potentiels de la solution étudiée, par exemple des soignants s'il s'agit de dispositifs médicaux, ou des personnes âgées dans le cas d'objets ou d'applications qui leur sont directement destinés. Ce trio national une fois constitué, le projet peut recevoir la collaboration de partenaires

provenant d'autres pays, comme de France voisine.

Neuf projets ont d'ores et déjà été élus lors de la première année de fonctionnement, et l'objectif est fixé à une quinzaine pour les années suivantes.

Pour en savoir plus sur *Silver Aging*, soumettre un projet ou proposer une collaboration : <https://silver-aging.ch>

¹ Programmes mis en œuvre et financés par la Confédération via son agence Innosuisse, les Innovation Boosters interviennent très en amont de la chaîne d'innovation, en favorisant la conception de solutions dans tous les domaines, de l'intelligence artificielle à l'agroalimentaire, des nouvelles mobilités à la robotique. Consacré à l'amélioration de la qualité de vie des seniors, le projet Silver Aging a été élu en 2024 au titre de ce dispositif pour une durée de quatre ans.

Contact :
Haute Ecole Arc Santé
Daniel Cefai
Tél. + 41 (0)79 354 10 27
daniel.cefai@he-arc.ch

FAIT DE SOCIÉTÉ

RENCONTRES EN LIGNE : COMMENT ÇA MATCHE ?

« Homme, la soixantaine, revenus confortables, belle maison, cherche femme 35/45 ans, situation sans importance, pour sorties, balades et plus si affinités... » Comme les petites annonces paraissant jadis dans les journaux, les sites de rencontre sont un moyen à part entière de trouver un partenaire, voire son âme sœur. Et aujourd'hui comme hier, le modèle patriarcal ne manque pas d'être dominant, tout au moins sur Tinder. Cette application, l'une des plus importantes du secteur, a été particulièrement étudiée dans ses recherches par Jessica Pidoux, sociologue du numérique et post-doctorante à l'université de Neuchâtel. « Sur Tinder, les algorithmes sont paramétrés de telle manière que les hommes matures et disposant de bons revenus voient leurs dossiers placés en haut de la pile, quand, à l'inverse, un bon niveau d'éducation ou de revenus font baisser le « score de désirabilité » des femmes, et donc leur place. » Si la technologie évolue, certains modèles ont la vie dure. « Il ne faut pas oublier que derrière les algorithmes, ce

sont des personnes qui décident des critères qui sont importants », poursuit la jeune chercheuse. « Sur Tinder, la position de l'homme est dominante. Sur Parship, c'est le salaire qui est mis en avant. Les utilisateurs ne sont pas conscients de ces paramétrages et des biais qu'ils peuvent induire. » Dans des rencontres devenues « socio-techniques », qui mettent en scène des humains, des machines et des systèmes informatiques, la performance et la rapidité du traitement de l'information s'accompagnent de faux-semblants. D'autant que les systèmes ne se contentent pas de faire tourner les algorithmes avec les éléments indiqués dans un profil : ils récoltent aussi les informations qu'un utilisateur essaime sur internet au gré de ses navigations, pour nourrir ces algorithmes de façon implicite. Achat de vêtements, réservations de vacances, publication de photos..., tout laisse des traces sur le net et peut être réutilisé, comme chacun sait. Ou pas. Parce qu'au-delà de l'agacement à devoir gérer des préférences ou faire attention

aux *cookies* à chaque fois qu'on consulte une page internet, on ne se rend pas compte en les zappant qu'on ouvre grand la porte sur nos informations, et qu'on les offre sur un plateau aux entreprises comme aux personnes malveillantes. « Nous avons des droits sur nos données personnelles, qu'on peut demander aux plateformes numériques et à toute entreprise qui collecte des informations sur nous, mais souvent on l'ignore. De plus, ces données sont complexes et volumineuses, elles demandent une véritable expertise pour pouvoir être interprétées », explique Jessica Pidoux, qui parallèlement à ses activités d'enseignement et de recherche, a créé l'association PersonalData.IO, pour aider les internautes à consulter et à mieux comprendre ces données qui sont les leurs, mais qui ne leur appartiennent plus vraiment.

Contact :
Institut de sociologie
Université de Neuchâtel
Jessica Pidoux
jessica.pidoux@unine.ch
<https://personaldata.io>

AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

SOLUTRÉ, JEU SÉRIEUX, AMUSANT ET RÉCOMPENSÉ

N'est pas « Grand site de France » qui veut. Préserver un tel site de la surfréquentation touristique est la condition indispensable pour garantir que cette labellisation tant estimée sera reconduite dans le temps. Différents acteurs sont concernés pour mener à bien cette mission : ils ont à se réunir pour travailler ensemble à faire émerger des solutions d'aménagement et de développement du territoire, dans

une optique de durabilité et de cohésion. Ce principe fonde les règles d'un jeu sérieux imaginé d'après les caractéristiques du site de la célèbre roche de Solutré (71), qui se prête parfaitement à l'exercice.

Solutré, le jeu, est conçu sur la base d'un diagnostic territorial établi par des géographes, sous la direction d'Anne Jégou et de Damien Marage, du laboratoire THÉMA. Il met en lien les acteurs

en présence, devenus forces de proposition, dans le but d'obtenir le renouvellement de la labellisation du site : élu, habitant, professionnel du tourisme, naturaliste, viticulteur doivent jouer collectif pour parvenir à cet objectif, tout en gardant leurs intérêts propres à l'esprit. C'est cet équilibre qui sera garant de la réussite du projet. Amélioration des équipements touristiques, création d'activités économiques,

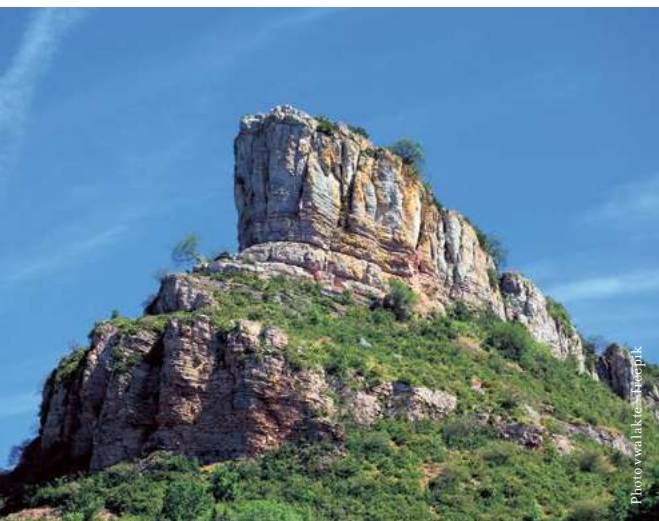


Photo: valak / iStockphoto

aménagements forestiers, interventions en faveur de la biodiversité..., toutes les actions susceptibles d'être mises en œuvre sont ainsi questionnées, discutées, négociées au fil des tours d'« un jeu sérieux et amusant à la fois ».

Testé auprès d'étudiants, de spécialistes du jeu et de professionnels de l'aménagement, *Solutré* a gagné ses lettres de noblesse en remportant le prix du meilleur *serious game* au concours organisé

par l'*International Simulation and Gaming Association* à Jakarta en octobre dernier, où il a été qualifié de « jeu le plus abouti en termes d'aménagement du territoire ». *Solutré* est disponible à la vente sur le site de son éditeur, les Presses universitaires de Franche-Comté, <https://pufc.univ-fcomte.fr>

Contacts :

Laboratoire THÉMA

UMLP / UBE

Damien Marage / Anne Jegou

Tél. +33 (0)3 81 66 54 02 / 80 39 57 31

damien.marage@univ-fcomte.fr

anne.jegou@u-bourgogne.fr

SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES

UNE AUTRE IDÉE DE L'HYDROGÈNE

Au fil des années, l'hydrogène conforte sa position d'instrument potentiel pour la transition énergétique. Simple composante du futur mix énergétique pour les uns, solution miracle pour les autres, l'hydrogène est avant tout considéré comme un objet technique et économique : les sciences humaines et sociales (SHS) voient leur rôle encore trop souvent se réduire aux questions d'acceptabilité technologique, en bout de chaîne du processus. Mais la sociologie, l'histoire, la philosophie, la géographie, pour ne citer qu'elles, ont bien d'autres atouts dans leur jeu. Le dialogue entre ces disciplines, et entre SHS et sciences pour l'ingénieur, est à même de faire émerger des options inédites, profitables à la réflexion, en amont des processus de conception. « Tenir compte des pratiques et des modes de vie des futurs usagers pour élaborer des solutions adaptées participe d'une démarche essentielle de co-construction, à mettre au service de la transition », explique Nicolas Simoncini, enseignant-chercheur en histoire et sociologie des techniques à l'UTBM / Institut

FEMTO-ST/RECITS. Le chercheur souligne l'importance de s'appuyer sur le terrain, sur « l'étude des milieux », et donne, à titre d'illustration, quelques résultats d'études menées avec son équipe sur l'île de La Réunion, dans des régions montagneuses sans accès possible au réseau électrique. « Les enquêtes auprès des habitants montrent combien le recours à des équipements de proximité est judicieux. L'installation individuelle de panneaux photovoltaïques sur les toits et de batteries dans les maisons autorise une relation renouvelée à l'énergie, menant à une diminution des consommations. C'est une source d'inspiration pour concevoir autrement les technologies de la transition. »

Le chercheur pointe au contraire le « contenu politique et idéologique » des technologies de l'hydrogène. « Elles prolongent les modes de vie des sociétés industrielles, s'appuyant sur des réseaux de distribution immenses, des générateurs de grande puissance, des installations gigantesques... Une manière de fonctionner que

l'on reproduit avec les solutions durables, en créant par exemple des champs entiers de panneaux solaires. Finalement, on ne fait que déplacer le problème de la crise écologique du côté de l'extraction minière, entre quantité insuffisante de minerais et pollutions. »

D'autres voies sont à explorer, qui vont dans le sens d'une plus grande sobriété énergétique et sont à chercher souvent localement, comme en témoignent les enquêtes menées à La Réunion. Dans le domaine de la mobilité par exemple, de récentes études scientifiques montrent les limites de l'option que représente la voiture électrique en France, en termes de capacités de production et de distribution électriques, et même d'impacts environnementaux et humains, malgré les bénéfices à attendre de solutions plus vertueuses.

« Nous ne pouvons pas ignorer que le modèle de la voiture individuelle est à remettre en question, et faire l'impasse sur le choix de solutions permettant tout de même de répondre aux besoins en mobilité. » Proposer de nouvelles

configurations urbaines, favoriser les solutions de proximité et les transports en commun, investir différemment, selon d'autres bases de calcul..., les solutions sont encore nombreuses à imaginer, en lien avec les usagers.

Pour en savoir plus :
Kroichvili N., Simoncini N.,
L'hydrogène par les sciences humaines et sociales, Éd. UTBM, à paraître.
Simoncini N., *Le plein d'hydrogène. Une histoire des piles à combustible en France*, Classiques Garnier, 2023.

Contact :
Institut FEMTO-ST/RECITS
UMLP / SUPMICROTECH / UTBM / CNRS
Nicolas Simoncini
Tél. +33 (0)6 37 65 91 42
nicolas.simoncini@utbm.fr

RAYON PLANTES

UN LIVRE POUR TOUT CONNAÎTRE DU CHANVRE

Au petit jeu « Le saviez-vous ? », le chanvre, plante aux lointaines origines et aux multiples atouts, se prête à une ribambelle de questions-réponses. D'abord sur sa personnalité riche et complexe : si le chanvre et le cannabis proviennent bien de la même espèce botanique, le premier terme renvoie aux usages industriels de la plante, quand le second, copié-collé de son nom latin *Cannabis*, est réservé à ses usages thérapeutiques et récréatifs. Saviez-vous que l'amalgame entre les deux existait déjà au Moyen Âge, et que les premières interdictions sur le cannabis datent de cette époque ? Qu'entre les deux guerres mondiales, les industriels nord-américains ont savamment entretenu la confusion, pour

discréditer la plante et favoriser les productions issues du pétrole et du bois ? Que la France, qui a su conserver certains savoir-faire liés à son exploitation, est aujourd'hui le premier producteur de chanvre en Europe ?...

Depuis la fin des années 1990, la culture de la plante aux « mille vertus » est relancée partout dans le monde, tant ses applications sont prometteuses : fibres, fleurs, feuilles, graines, copeaux, poussière, racines, tout dans cette plante est exploitable et valorisable. Le chanvre intéresse une foule de secteurs industriels, papeterie, bâtiment, textile, alimentation, cosmétologie, énergie, plasturgie..., et malgré un marché encore relativement confidentiel et une production limitée, on ne dénombre pas moins de

30 000 produits fabriqués à base de chanvre ou contenant une substance produite par la plante. Facile à cultiver, peu gourmand en eau, s'adaptant à de nombreux types de sol et de climats, résistant aux maladies, de fort rendement,

le chanvre a de quoi séduire tout agriculteur qui voudrait se lancer dans son exploitation, et par là même participer à sa réhabilitation. On trouve des traces témoignant de l'utilisation du chanvre dès le

Paléolithique, en Europe comme en Asie, et sa culture est attestée depuis 10 000 av. J.-C. en Chine. En Inde, au Népal, plus de mille ans avant notre ère, le chanvre était considéré comme une plante divine, « un don de Shiva »...

Pour tout connaître de la « plante magique », comme certains la nomment aujourd'hui, il est recommandé de lire *Le chanvre*. *De la plante aux applications*, dont le titre indique sobrement l'immense sujet qu'il traite dans ses pages. Un ouvrage de synthèse à destination du grand public et rédigé par des scientifiques, Grégorio Crini, chercheur en chimie organique et macromoléculaire à l'UMLP / laboratoire Chrono-environnement, et Chiara Mongiovì, qui a réalisé une thèse sous sa direction, aujourd'hui chercheuse associée à l'université de Bari (Italie). Spécialistes de l'élaboration de procédés de dépollution à base de substances naturelles, notamment issues du chanvre, les auteurs signent un livre qui, bien au-delà de leur propre domaine, représente actuellement la seule synthèse en langue française pour tout connaître de cette plante millénaire, dont le retour en force s'annonce si intéressant.



Mongiovì C., Crini G.,
Le chanvre. De la plante aux applications.
Presses universitaires
de Franche-Comté, 2024.

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



Photo Andrew Martin - Pixabay

Des débats qui n'en sont pas, des idées qui peinent à s'exprimer, des arguments d'office balayés : bien souvent, et cela ne manque pas d'être paradoxal, le caractère même des discussions politiques foule aux pieds les valeurs démocratiques. Un essai en philosophie montre la voie pour des échanges constructifs et apaisés, dignes du concept de démocratie.

INSTANT [PHILO]

DÉBATTRE POUR DE VRAI ET POUR LE BIEN DE LA DÉMOCRATIE

Bien des obstacles nuisent à la qualité du débat public, comme en témoignent les discussions stériles, et parfois féroces, entre leaders ou citoyens de tous bords

Et si les politiciens, les citoyens, les gens s'écoutaient ? Ce n'est là ni un vœu pieux, ni une idée utopique, mais le principe de base du débat public, qui lui-même pose le fondement de la démocratie. Entendre les arguments des autres, accepter les objections sans les prendre pour des attaques, délibérer, peser le pour et le contre..., voilà les ingrédients de tout débat d'idées constructif, pour la prise de décisions éclairées.

Mais bien des obstacles nuisent à la qualité du débat public, comme en témoignent les discussions stériles, et parfois féroces, entre leaders ou citoyens de bords politiques opposés, en France, en Suisse, aux États-Unis ou ailleurs encore.

Titulaire d'un doctorat en philosophie de l'université de Neuchâtel, Antoine Vuille explore dans un essai les ressorts qui transforment le débat d'idées

en affrontement. À destination du grand public, *Contre la culture du clash* est paru en novembre dernier aux éditions Éliott.

« Le relativisme et le dogmatisme, deux doctrines que l'on oppose souvent, empêchent chacune à sa manière le débat », indique l'auteur en préambule. Le relativisme estime qu'il n'existe pas de vérité absolue ou objective. Chacun détient sa propre vérité, qui évolue en fonction du contexte ou des circonstances. Si la vérité n'existe pas, si personne n'a raison et personne n'a tort, il ne sert donc à rien d'argumenter sur un sujet. À l'inverse, le dogmatisme dicte une vérité incontestable, se dispense de preuves à fournir, et n'admet ni le doute ni la critique. Là encore, puisque tout est dit, argumenter n'est pas une option. Les deux pensées s'opposent philosophiquement, mais amènent l'une comme l'autre à l'absence de discussion. Et l'une

comme l'autre sont couramment mises en pratique, d'où une polarisation souvent extrême en politique : gauche/droite, citadins/ruraux, républicains/démocrates, on est d'un côté ou de l'autre, on est pour ou contre : le débat est rarement constructif et serein.

VICES ET VERTUS DIALECTIQUES

D'autres écueils s'ingénient à perturber encore un peu plus le débat, comme la mauvaise foi, qui casse toute crédibilité et prête aux autres des intentions qu'ils n'ont pas. La mauvaise foi empêche de reconnaître même les meilleurs des arguments, ou ceux avec lesquels on pourrait être d'accord, car rien n'est jamais totalement blanc ou noir.

Autre disposition humaine qu'il est facile de cultiver sans y penser, le biais de confirmation conduit vers ce qui assoit ses positions : c'est lire systématiquement des journaux du bord politique dont nous sommes proches, ou ne côtoyer que des personnes qui ont les mêmes avis, au point de s'enfermer dans une bulle où nos idées apparaissent seules pertinentes. « Ce phénomène s'amplifie à l'ère du numérique avec l'accélération de la circulation des informations, et parce que les algorithmes nous mettent en contact avec des contenus correspondant à nos historiques de navigation », souligne Antoine Vuille.

À ces travers responsables de pseudo-débats, passionnés mais non fondés, belliqueux plus que respectueux, le philosophe oppose les vertus du dialogue, du raisonnement et de l'analyse. Thèse, antithèse, synthèse : une structure logique et objective de l'argumentation, ajoutée à des attitudes positives, ce sont là les clés d'un vrai débat.

« L'ouverture d'esprit et l'humilité intellectuelle sont fondamentales. Écouter l'autre, garder en tête que, peut-être, il a raison, essayer de se mettre à sa place, formuler des arguments qui défendent sa position, en quelque sorte se faire l'avocat du diable, c'est de cette façon que le débat devient constructif. » Un exercice pas toujours facile à mettre en pratique, mais un exercice justement, qui demande un peu d'entraînement.

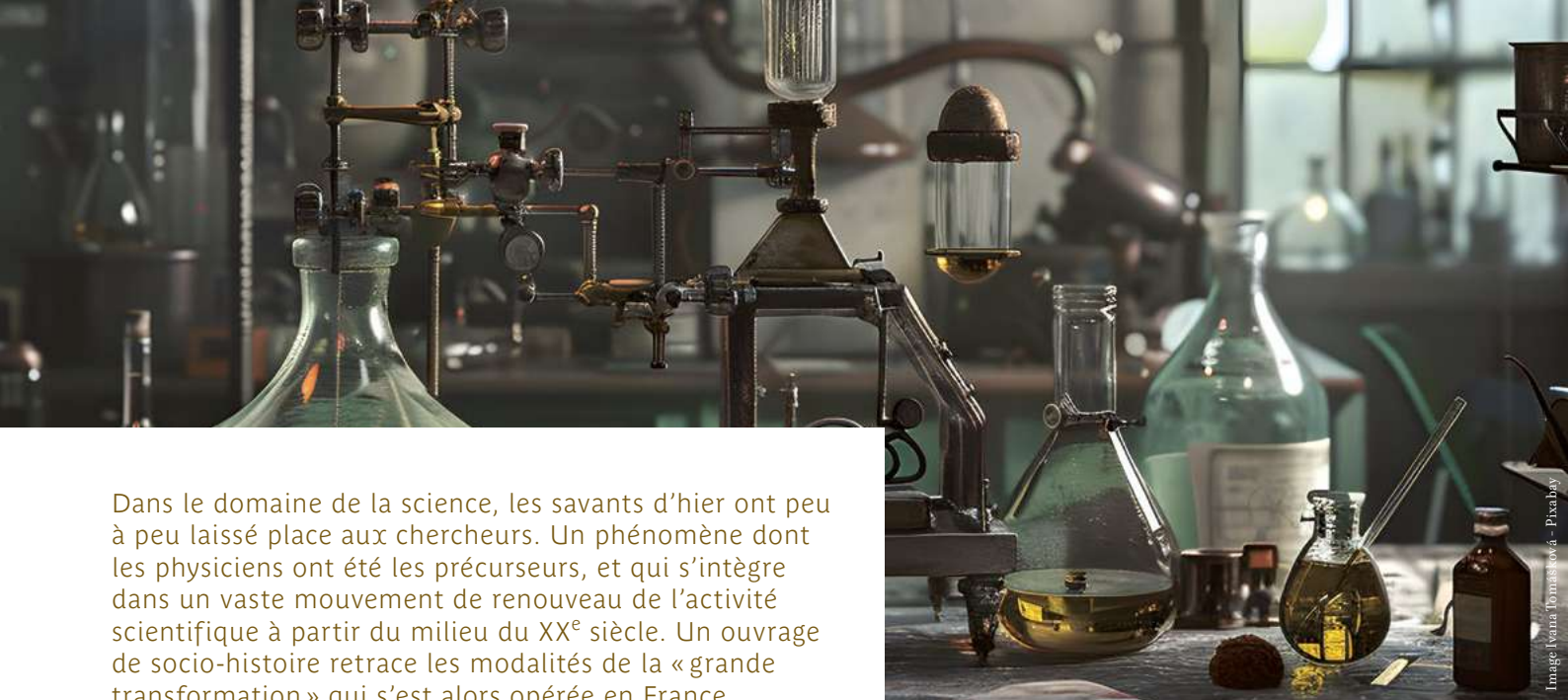
Du côté de l'argumentation, Antoine Vuille invite à regarder comment la logique permet d'organiser une réelle discussion. Selon cette démarche, il est utile de décomposer un argument en mettant en avant ses prémisses, c'est-à-dire les affirmations qui justifient la conclusion. Par exemple, un argument favorable à la très polémique réforme des retraites pourrait reposer sur les deux prémisses suivantes : « il est indispensable que l'État fasse des économies » et « la réforme des retraites est une solution pour en faire ». L'exemple aide à comprendre l'intérêt de distinguer les propositions, de décortiquer le débat. Si l'on n'est pas d'accord avec l'argument, quelle est la prémisse que l'on rejette, la première ou la deuxième ? D'autres questions peuvent alors se poser : y a-t-il d'autres moyens de faire des économies ? Sont-ils plus judicieux ? Il devient plus facile d'identifier ce qui fait consensus ou pas, et de mettre en évidence que les désaccords ne viennent parfois que du poids que l'on accorde à un argument dans la discussion.

« L'analyse logique est typique du travail du philosophe. Elle peut s'appliquer à tout domaine pour lequel le débat est important. On prend rarement le temps de discuter, d'essayer d'y voir plus clair, c'est vers cela qu'il faut tendre », conclut Antoine Vuille.

À ces travers responsables de pseudo-débats, passionnés mais non fondés, le philosophe oppose les vertus du dialogue, du raisonnement et de l'analyse



Vuille A. *Contre la culture du clash. Débat d'idées et démocratie*. Éditions Éliott, 2024.



Dans le domaine de la science, les savants d'hier ont peu à peu laissé place aux chercheurs. Un phénomène dont les physiciens ont été les précurseurs, et qui s'intègre dans un vaste mouvement de renouveau de l'activité scientifique à partir du milieu du XX^e siècle. Un ouvrage de socio-histoire retrace les modalités de la « grande transformation » qui s'est alors opérée en France...

SOCIO-[HISTOIRE]

LES PHYSICIENS, PIONNIERS DE LA SCIENCE MODERNE

Les scientifiques,
avant 1945
considérés comme
des savants,
adoptent de
nouvelles
pratiques
professionnelles
qui les conduiront
à endosser
le métier de
chercheur

En août 1945, l'explosion de la bombe atomique à Hiroshima puis Nagasaki met fin à la Seconde Guerre mondiale et marque la victoire des Alliés. C'est aussi la victoire de la science, la reconnaissance du pouvoir de la physique sur la marche du monde. Avec la fin des hostilités s'ouvre l'ère de l'« âge atomique », qui voit la place des sciences physiques grandir dans la société, et s'affirmer au sein de l'enseignement et de la recherche, une situation à l'origine de profondes réformes. Érigées en modèle, les sciences physiques entraînent les autres disciplines dans une révolution qui gagne tour à tour les mathématiques, les sciences naturelles, puis les sciences humaines et sociales. Les scientifiques, qui avant 1945 étaient considérés et se considéraient eux-mêmes comme des savants, adoptent de nouvelles pratiques professionnelles qui les conduiront à endosser le métier de chercheur. La transformation, pour être profonde, n'en est pas

moins rapide, à peine plus de deux décennies.

Cette période clé, courant de 1945 à 1968, est au centre d'une analyse que Pierre Verschueren expose dans son ouvrage *Des savants aux chercheurs*¹. Une enquête extrêmement documentée, qui mêle l'utilisation de concepts de sociologie à l'analyse de sources historiques, selon une approche que l'auteur, enseignant-chercheur à l'UMLP / Centre Lucien Febvre, qualifie de « socio-histoire ».

LES SCIENCES PHYSIQUES, DES OBSERVATOIRES PRIVILÉGIÉS

La Seconde Guerre mondiale puis la guerre froide sont des moteurs essentiels de l'essor des sciences physiques.

La maîtrise de l'énergie nucléaire, la conquête de l'espace, la naissance du transistor, du radar, du laser... sont autant de bonds scientifiques qui jalonnent la

seconde moitié du XX^e siècle. En France, les effectifs étudiants explosent, comme le symbolise le nombre de doctorats, multiplié par 20 entre 1944 et 1968. De nouvelles formations s'ouvrent, les diplômes se diversifient. Le doctorat de 3^e cycle, dédié à la formation à la recherche, fait son apparition en 1954. De son côté, la recherche publique prend de l'ampleur et se structure, par exemple avec la création du CEA² en 1945, de l'ONERA³ en 1946. Le CNRS compte 1 500 chercheurs en 1950, 6 000 quinze ans plus tard. Les laboratoires se multiplient également au sein des universités. Dans un tel contexte, « l'analyse de l'espace social des sciences doit [...] se faire en prenant en compte à la fois le champ scientifique et le champ universitaire. » Cette démarche globale, originale, n'est pas le moindre des intérêts de l'analyse de Pierre Verschueren. L'auteur révèle la « crise d'identité » que certains vivent alors que la science est amenée à se rapprocher de l'État, de l'armée, de l'industrie. Il explique les particularités des scientifiques français par rapport à leurs voisins européens. Il investit le système de sélection des membres de la communauté scientifique, étudie les caractéristiques socio-culturelles des thésards, s'intéresse au cas des assistants, maîtres-assistants, attachés et chargés de recherche, qu'il nomme le « tiers-état » universitaire. Il présente trois « idéaux-types », qui expliquent l'évolution de l'activité scientifique et universitaire plus qu'ils ne représentent des portraits-robots, tant les réalités sont multiples et les traits de caractère susceptibles de se mélanger. Le « savant », né dans les années 1880, a une pratique individuelle de la recherche, publie en français, des ouvrages

plutôt que des articles, et évolue dans des réseaux nationaux. À cette époque, le savant est promu pour avoir contribué personnellement aux avancées de la science, une science autonome et « pure », qui ne se compromet pas avec la sphère politique ou économique. À partir de la Seconde Guerre mondiale, le « chercheur » évolue dans une équipe, son nom apparaît dans un collectif de signatures d'articles rédigés en anglais. Les relations avec l'État et l'industrie s'envisagent d'un œil nouveau, favorablement. « Les chercheurs sont plus nombreux que les savants, moins puissants, mais plus utiles aux yeux de la société », souligne Pierre Verschueren. Entre les deux profils, coïncidant avec l'entre-deux guerres, le « patron » est celui qui assure la transition. Encore un peu savant, déjà chercheur, il dirige un laboratoire et/ou une école, et a ses entrées dans le monde politique et/ou économique. « Les choses sont très largement jouées avant 1958, et la mutation devient irréversible après cette date, avec le choix, ou plutôt le pari gaullien de la massification de l'enseignement supérieur et de la recherche. » Après trois guerres successives qui l'ont précipitée en mauvaise posture, la science française, aidée par un mouvement de réforme sans précédent, retrouve sa carrure internationale. En témoignage de façon symbolique l'attribution à des scientifiques français des prix Nobel de médecine, en 1965, et de physique, en 1966, les premiers depuis le prix Nobel de chimie des époux Joliot-Curie, en 1935.

¹ Ouvrage issu de la thèse en histoire contemporaine que Pierre Verschueren a soutenue en 2017 à l'université Paris I Panthéon-Sorbonne.

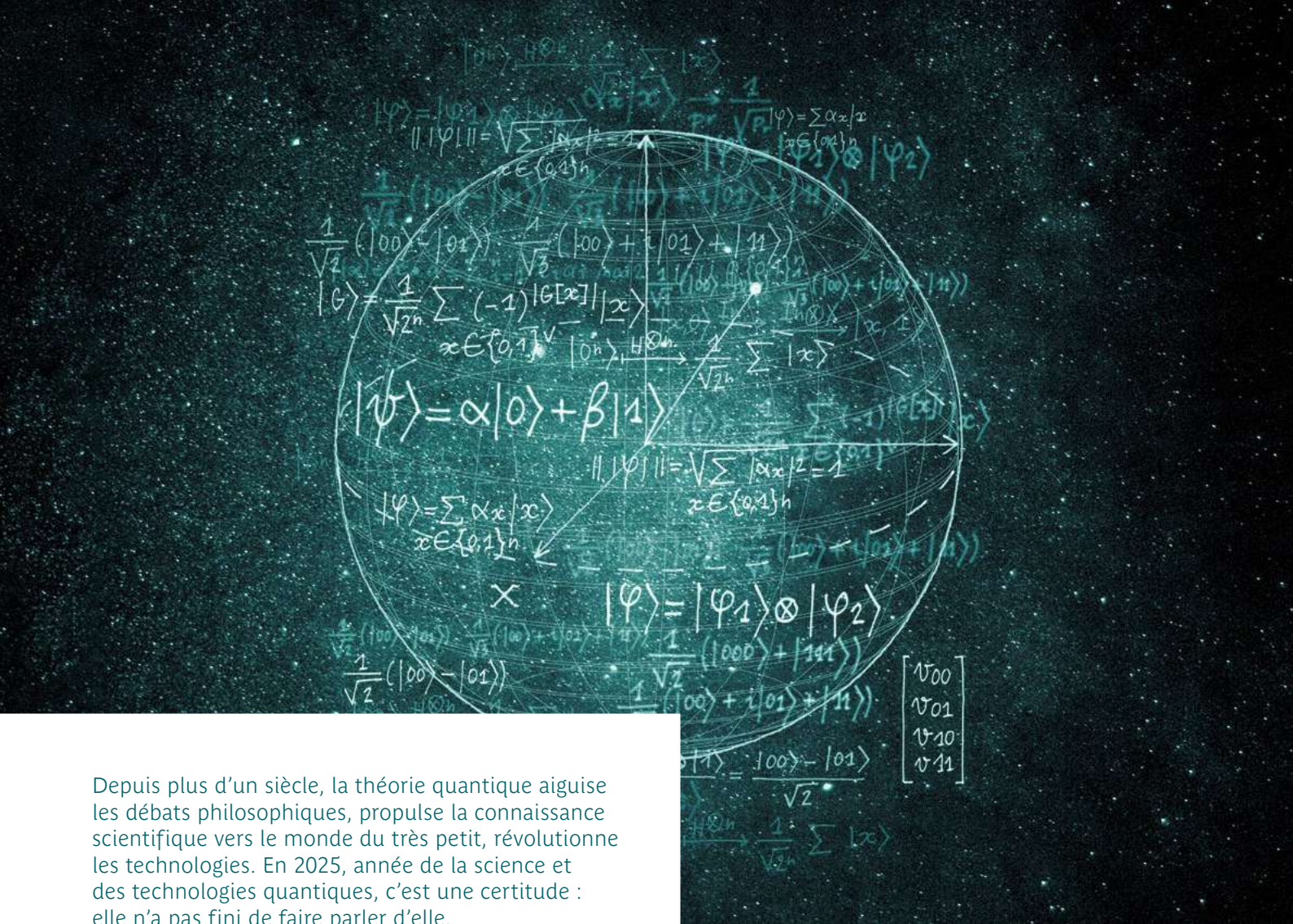
² Commissariat à l'énergie atomique.

³ Office national d'études et de recherches aérospatiales.

L'auteur présente trois « idéaux-types » pour expliquer l'évolution de l'activité scientifique et universitaire : le savant, le chercheur et le patron



Verschueren P., *Des savants aux chercheurs. Les sciences physiques comme métier (1945-1968)*. ENS Éditions, 2024.



Depuis plus d'un siècle, la théorie quantique aiguise les débats philosophiques, propulse la connaissance scientifique vers le monde du très petit, révolutionne les technologies. En 2025, année de la science et des technologies quantiques, c'est une certitude : elle n'a pas fini de faire parler d'elle.

GRAND FORMAT [MISE EN LUMIÈRE]

LE PHÉNOMÈNE QUANTIQUE

La théorie
quantique a
modifié les façons
de penser et de
considérer les
phénomènes à
l'œuvre dans la
nature

De *Interstellar* à *Oppenheimer* en passant par *Avengers : Endgame*, la fiction fait la part belle aux lois et étrangetés quantiques. Mais si elle ne fait étalage de ses mystères en public que depuis quelques années, la théorie quantique fête son centenaire, et plus encore. Depuis ses premières formulations au tout début du XX^e siècle, les plus éminents scientifiques l'étudient, parviennent à fournir les preuves de sa réalité, et donnent matière à considérer le monde qui nous entoure sous un nouveau jour. Aujourd'hui les États développent des programmes ambitieux, les grandes entreprises multiplient les investissements, les *start-up* fleurissent : chacun à son niveau se prépare aux bouleversements prodigieux que laissent envisager les développements de la science et des technologies quantiques, et à leurs potentiels impacts sur la société. Au siècle dernier, la première révolution quantique était celle de la compréhension de la matière et de ses propriétés, à l'origine d'avancées scientifiques qui ont profondément modifié notre quotidien ; la seconde est en cours, elle repose sur l'exploitation des ressources quantiques pour la mise au point des technologies de demain. Théorie plus que centenaire et science du futur : le quantique ne craint pas d'être jugé paradoxal.

PORTE OUVERTE SUR UN MONDE INVISIBLE

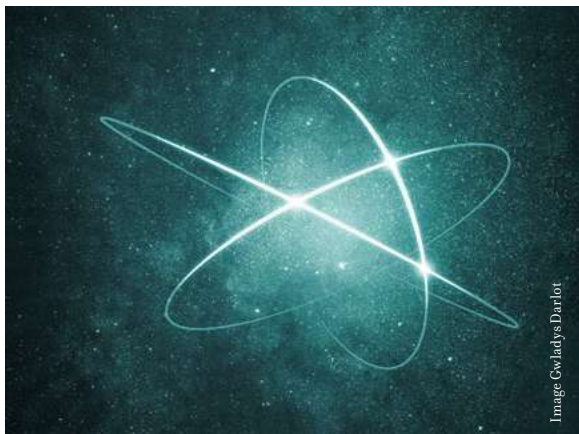
À nos yeux qui
ne voient que
ce qui leur est
possible de
saisir, les lois
et propriétés
de la physique
quantique
semblent
contradictaires
ou paradoxales

D'une conception du monde traduite en équations par les mathématiciens, décortiquée et mise en évidence par les physiciens, avant d'être la source d'extraordinaires développements technologiques, le quantique poursuit son inexorable progression. Une longue aventure ponctuée d'intenses débats philosophiques et questionnements scientifiques, tant ce nouveau paradigme a modifié les façons de penser, de considérer les phénomènes à l'œuvre dans la nature, et d'envisager des possibilités jusqu'alors inconnues. Ce qu'il est convenu aujourd'hui d'appeler la physique classique s'applique au monde macroscopique, celui qui familièrement nous entoure. La physique quantique, elle, prend le relais pour comprendre, décrire et tirer des bénéfices de ce qui se passe à très petite échelle, à la taille de l'atome et moins encore. Les lois qui régissent l'un et l'autre de ces deux mondes sont radicalement différentes, cela demande d'emblée un effort d'imagination. Là où la physique classique parle mesures objectives et certitudes, comme en mécanique ou en thermodynamique, la physique quantique repose sur des lois de probabilité. On ne peut pas savoir où se trouve par exemple un électron, il n'y a que des probabilités qu'il soit dans un état d'énergie ou un autre. On fait donc comme s'il était dans plusieurs états en même temps, la prise de mesures étant le seul moyen de détruire l'incertitude. C'est le principe de la superposition quantique, totalement étrangère à notre monde observable, qu'illustre l'histoire du chat de Schrödinger. Le scientifique autrichien a voulu ainsi le rendre plus compréhensible : enfermé dans une boîte avec un dispositif susceptible de le tuer s'il se déclenche, le chat est peut-être mort, peut-être vivant, on ne peut le savoir que si on ouvre la boîte : c'est l'observation qui établit la réalité d'une hypothèse. À noter que le chat n'est pas « à la fois » mort et vivant comme l'indique parfois cette formule, que les scientifiques jugent inadaptée. À nos yeux qui ne voient que ce qui leur est possible de saisir, les lois et propriétés de la physique quantique semblent contradictoires ou paradoxales ; elles défient l'imagination, parce qu'il est nécessaire de faire abstraction de notre sens commun pour les aborder. Et si elles sont de mieux en mieux comprises et décryptées, elles portent toujours des parts d'ombre qui continuent à nourrir les débats.

DEUX RÉVOLUTIONS QUANTIQUES

La première révolution quantique est ainsi fondée sur un principe qui, en son temps, a paru totalement insolite et ambigu : la dualité onde-particule. En décembre 1900, Max Planck, « le père de la physique quantique », énonce que l'énergie rayonnante est composée de corps élémentaires, les quanta. Cinq ans plus tard, Einstein met en évidence les quanta d'énergie contenus dans l'onde lumineuse, qui seront nommés photons. En 1923, Louis de Broglie découvre la nature ondulatoire des électrons : la dualité onde-corpuscule est généralisée à toute la matière. Une métaphore permet de mieux rendre concrète cette dualité : au fond

de la mer, on voit le sable former de petites oscillations, il paraît semblable à une onde ; mais si on s'en approche, on distingue les grains qui le constituent. De la même façon que le sable, une onde lumineuse révèle les photons qui la composent et qui transportent l'énergie, dès lors qu'on la regarde de plus près, de très près même. C'est donc l'échelle à laquelle on observe la lumière, pour reprendre cet exemple, qui met en évidence soit ses caractéristiques ondulatoires, soit ses propriétés corpusculaires.



Lorsqu'elles sont
placées dans
un état intriqué,
deux particules
constituent un
système lié dans
lequel elles sont
dépendantes
l'une de l'autre,
quelle que soit la
distance qui les
sépare

La compréhension des processus régissant le comportement des particules s'est traduite en modèles mathématiques, dont les premiers datent de 1925. Ces outils théoriques ont permis de mettre en évidence les propriétés mécaniques, optiques et électriques de la matière, qui ont donné naissance à des technologies majeures au cours de la seconde moitié du XX^e siècle : le laser, impliqué dans une foule d'applications, de la télécommunication par fibres optiques à l'usinage des matériaux ; le transistor, à la base du développement des circuits électroniques de nos ordinateurs ou téléphones portables ; la résonance magnétique nucléaire, utilisée dans le domaine médical avec l'imagerie par résonance magnétique (IRM), ou en chimie avec la spectroscopie.

Depuis 1970, on sait isoler un unique atome, l'observer et le conserver. Cette possibilité de manipuler individuellement des particules marque les débuts de la seconde révolution quantique. Révolution qui repose aussi et surtout sur la mise en évidence d'une propriété quantique de premier plan : l'intrication. Lorsqu'elles sont placées dans un état intriqué, deux particules, ou groupes de particules, constituent un système lié dans lequel elles sont dépendantes l'une de l'autre. Leurs propriétés physiques sont corrélées, quelle que soit la distance qui les sépare. Ce phénomène, qui a donné lieu à un débat théorique jamais clos entre deux monstres sacrés de la physique, Einstein et Bohr, est prouvé par une expérience réalisée en 1982 par le physicien français Alain Aspect. Une longue série d'essais s'ensuit, qui en 2015 ne laisse plus place au moindre doute. L'intrication quantique est dès lors une vérité scientifique. Elle s'explique par une corrélation entre deux particules intriquées pouvant donner lieu à des effets instantanés, donc plus rapides que la vitesse de la lumière, une réalité à laquelle Einstein ne pouvait se résoudre. Alain Aspect obtient le prix Nobel de physique en 2022, récompense ultime pour ses travaux, quarante ans après sa célèbre première expérience.

INTRICATION ET DÉCOHÉRENCE, UNE FRANCHE OPPOSITION

Si les chercheurs savent créer des états intriqués entre des particules, protéger cette intrication représente toujours un vrai défi. Les atomes ne sont jamais seuls. Ils interagissent avec un environnement, donnant lieu à la notion de système quantique ouvert. L'environnement dans lequel évoluent les atomes est traversé de champs électromagnétiques, un « bruit ambiant » susceptible de modifier, voire de détruire les propriétés quantiques associées à l'intrication. Ce phénomène délétère, appelé décohérence, est dans

la ligne de mire de spécialistes comme Bruno Bellomo, enseignant-chercheur en physique théorique à l'UMLP / Institut UTINAM, dans le cadre de ses études sur le « contrôle de systèmes quantiques ouverts optimisés ». « Un objectif majeur de cette recherche est de combiner les avantages de deux méthodes pour protéger les systèmes de la décohérence. La première exploite directement la dynamique dissipative des systèmes quantiques : les bruits environnementaux, dont il est impossible de s'affranchir totalement, sont manipulés et utilisés de telle sorte que l'environnement devienne lui-même une ressource capable d'opérer un contrôle sur les systèmes. La deuxième stratégie consiste à recourir à des champs de contrôle externes que l'on peut faire varier dans le temps, en jouant sur leurs fréquences et sur leur forme. De cette façon, on peut éliminer en partie les effets des bruits environnants. De très bons résultats ont été obtenus avec cette deuxième stratégie, identifiant un protocole de



Image: Mario Santos - Pixabay

protection d'opérations sur des systèmes quantiques efficace pour plusieurs types de bruits, quelle que soit leur nature exacte », se réjouit le chercheur, qui ajoute : « Les systèmes quantiques ouverts sont au centre des questionnements actuels. Ils représentent un moyen d'étudier la transition entre physique classique et physique quantique, et de comprendre le passage entre ces deux descriptions. »

Le phénomène si fragile de l'intrication passionne aussi le mathématicien Uwe Franz, enseignant-chercheur en analyse fonctionnelle à l'UMLP / LmB, qui s'intéresse plus particulièrement à ce phénomène lorsqu'il concerne plusieurs particules. « Le quantique fournit beaucoup de questions différentes, c'est un sujet de recherche vivant, à la base de nouvelles méthodes, d'idées innovantes, et pour lequel des progrès sont réalisés tous les jours. » Le chercheur élabore des modèles de transmission d'information pour faire progresser la théorie dite des canaux quantiques. « Dans la réalité, la qualité de transmission des informations quantiques se dégrade au fil du temps. Il s'agit de regarder comment les systèmes évoluent, de voir s'ils convergent vers un « bruit blanc » signifiant qu'à un moment donné, il ne subsiste plus aucune information quantique. » Il s'agit également de caractériser la nature et la quantité d'informations perdues, et de là de réussir à construire des mécanismes de correction. L'introduction de redondances, qui implique la répétition des informations transmises, pourrait par exemple être un

moyen de retrouver des données perdues.

« L'émergence de nouvelles théories est un objectif de la recherche en mathématiques. Ces théories peuvent donner lieu à la formulation de processus qui aujourd'hui intéressent les physiciens, et qui avaient déjà été observés par les mathématiciens dans d'autres contextes. Si elles ne sont pas encore forcément exploitables par la physique, il est certain qu'elles se traduiront plus tard dans des applications. »

CRYPTOGRAPHIE ET Cie

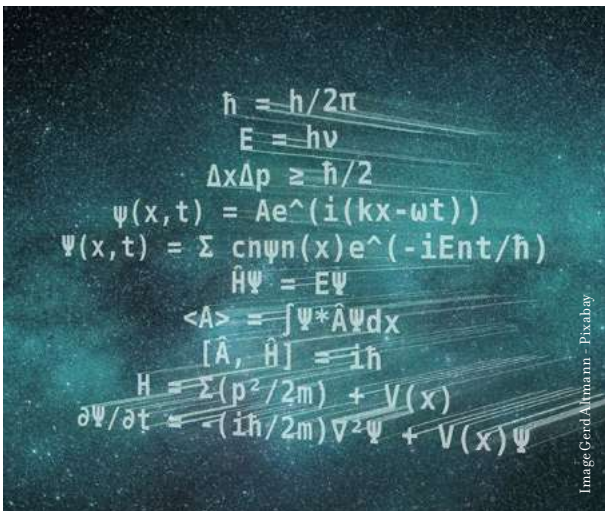
L'interception de la transmission d'un message est détectable en temps réel : toute action sur l'un des photons impacte instantanément l'état de l'autre

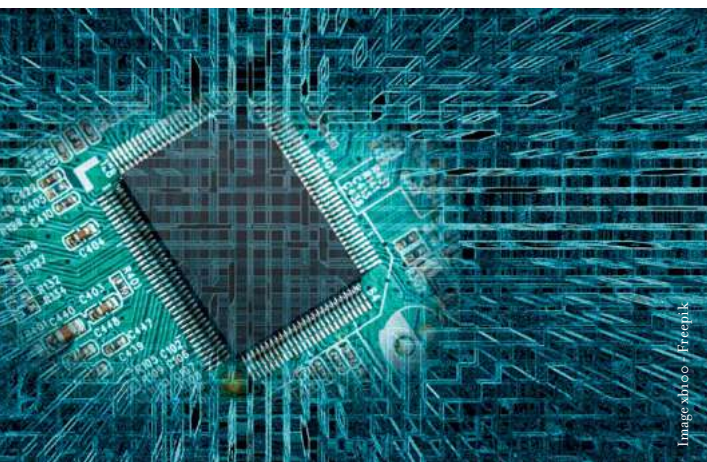
L'intrication donne lieu à de nouveaux développements de la cryptographie, qui regroupe des techniques de chiffrement des données dont les plus anciennes sont attestées dès l'Antiquité. À l'époque d'internet, la cryptographie est indispensable au quotidien pour sécuriser les communications, surtout les plus sensibles, concernant par exemple les transactions bancaires ou les informations médicales.

La cryptographie quantique ne concerne pas le codage d'un message lui-même, mais la distribution sécurisée de clés de chiffrement qui permettent à deux interlocuteurs distants, l'un de pouvoir coder le message au départ, l'autre de pouvoir le déchiffrer à l'arrivée. Recourir à des photons intriqués pour le transport de l'information est un moyen optimal d'assurer la sécurité d'une transmission : entre l'émission et la réception du message, d'un photon à l'autre, la moindre tentative d'interception de la transmission est détectable en temps réel, car toute action sur l'un des photons impacte instantanément l'état de l'autre.

Si la cryptographie est actuellement une application phare du domaine quantique, d'autres se profilent : de nombreux termes comme calcul, internet, capteur..., peuvent être associés à l'adjectif quantique.

« Les possibilités sont immenses. Si la première révolution a favorisé le développement technologique, la seconde représente un véritable saut conceptuel, un changement d'échelle considérable », expose Maxime Jacquot,





¹ Partenaire attitrée de l'Institut FEMTO-ST dont elle est issue, Aurea Technologies compte parmi les fournisseurs de ces instruments de mesures optiques. La société bisontine est impliquée dans des recherches concernant le quantique avec l'industrie ou le secteur public, par exemple pour la communication par satellite, la mesure de contaminants dans l'eau ou encore les capteurs ultra longue distance.

C'est aussi par
l'expérimentation
que pourront
émerger, pour
les besoins
de l'industrie,
des solutions
techniques
faciles à mettre
en œuvre

enseignant-chercheur en optique à l'UMLP / Institut FEMTO-ST. Un bouleversement porteur d'enjeux, auxquels veut se préparer la France avec le Plan quantique, lancé en 2021 et doté de 1,8 milliard d'euros.

En Bourgogne - Franche-Comté, les chercheurs en mathématiques, physique théorique, optique et informatique du domaine quantique sont réunis en réseau dans le cadre de ce programme national de structuration des moyens de la recherche, de l'enseignement et de l'industrie. À l'intérieur du Plan quantique, le projet QuanTEdu-France est dédié à la formation et représente un investissement de l'ordre de 56 millions d'euros, dont 800 000 € sont fléchés pour la Région Bourgogne - Franche-Comté. Maxime Jacquot a assuré le copilotage du projet au niveau régional, il vient de passer le relais à son collègue Mayeul Chipaux, titulaire d'une chaire de professeur junior en optique, sciences et technologies quantiques, pour sa coordination à l'échelle d'UMLP. « QuanTEdu-France prévoit d'assurer la transformation de l'offre de formation afin de l'adapter à la donne quantique. Cela signifie dispenser des formations à l'université dès après le bac jusqu'au doctorat, financer des thèses, préparer des milliers de jeunes à des diplômes d'ingénieur, afin de répondre aux besoins croissants de la recherche et de l'industrie. »

Le projet QuanTEdu donne aussi l'opportunité d'acquérir du matériel de pointe. Un dispositif de travaux pratiques inédit permet ainsi aux étudiants de rentrer pleinement dans le sujet. Il fonctionne depuis la dernière rentrée sous la supervision de Jean-Marc Merolla, chercheur CNRS à l'Institut FEMTO-ST. Des sources à photons jumeaux, des interféromètres, des détecteurs de photons, des détecteurs de bruits donnent une réalité physique, expérimentale, à l'étude du domaine quantique¹. Mis en place cette année pour la première fois pour les étudiants de master 2, ces TP seront ensuite proposés aux doctorants, et pourront être délocalisés hors des murs de l'université comtoise pour en faire bénéficier d'autres étudiants.

EXPÉRIMENTATION(S)

De tels équipements sont bien sûr également utiles à la recherche. Jean-Marc Merolla travaille à la mise au point de réseaux quantiques terrestres et spatiaux, pour le transfert d'informations quantiques. Dans ce cadre, le système cryogénique avec supraconducteurs dont s'est équipé le laboratoire est très performant pour refroidir les systèmes et éviter le bruit provenant de l'agitation thermique. Il permet de générer très efficacement des photons dans les longueurs d'onde de l'infrarouge, qui sont celles des télécommunications. Pour les besoins de ce domaine, les chercheurs peuvent ainsi structurer des composants en silicium ou en niobate de lithium, un cristal photonique particulièrement prisé pour ses qualités. L'exploitation de différentes longueurs d'onde et fréquences de la lumière est de longue date la spécialité des chercheurs en optique de l'Institut FEMTO-ST. Partant de cette option scientifique, les technologies actuelles et futures pourront se développer de façon complémentaire, en fonction des applications. « Les technologies quantiques permettent d'aller plus loin en distance, et de repérer des signaux plus faibles. Par exemple, les nouvelles générations de LIDAR, une technique de mesure à distance par laser, donneront la possibilité de détecter des polluants dans l'atmosphère ou des variations de température de façon très fine, à des dizaines de kilomètres de distance », explique Jean-Marc Merolla.

C'est aussi par l'expérimentation que pourront émerger, pour les besoins de l'industrie, des solutions techniques faciles à mettre en œuvre, ou tout au

En réalisant
des calculs de
façon différente,
l'ordinateur
quantique
donne la
possibilité de
résoudre des
problèmes
complexes
auxquels ne
saurait s'attaquer
un ordinateur
classique

moins susceptibles de s'affranchir de certaines contraintes de fabrication. Toujours à FEMTO-ST, une recherche développée par Mayeul Chipaux vise l'utilisation d'objets quantiques qui ne nécessitent pas de mise sous vide et peuvent être réalisés à température ambiante. Entre physique quantique et nanosciences, cette recherche s'intéresse au diamant et plus encore à un défaut que peut présenter ponctuellement sa structure cristalline, appelé « centre azote-lacune », et que les chercheurs savent reproduire. Il s'agit de remplacer un des atomes de carbone constituant le diamant par un atome d'azote, qui se juxtapose à une place laissée « vacante » par le retrait d'un autre atome de carbone. La création de centres azote-lacune donne localement au diamant des propriétés de luminescence exploitables pour la détection d'infimes champs magnétiques, champs électriques, contraintes mécaniques et processus biologiques. Ces travaux promettent des développements novateurs dans le domaine des capteurs, par exemple pour la cryptographie quantique ou l'imagerie médicale.

PREMIERS DÉVELOPPEMENTS DE L'ORDINATEUR QUANTIQUE

Les applications de la physique quantique, en cours ou à venir, qu'elles découlent de la première ou de la seconde révolution quantique, sont regroupées par les spécialistes en quatre grands domaines : la cryptographie et les réseaux, les capteurs et la métrologie, la simulation, l'ordinateur et les systèmes d'information. Dans cette dernière partie, l'ordinateur quantique est aujourd'hui devenu une réalité. Les premiers processeurs quantiques apparaissent à partir de 2017. Monopolisant d'importantes ressources technologiques et financières, ils sont développés par de grandes entreprises comme IBM ou Google, ou par des *start-up*. « Pour l'instant, ils ne présentent pas une fiabilité suffisante pour atteindre la « suprématie quantique » promise, mais nous n'en sommes qu'au commencement. À la naissance de l'informatique au début des années 1950, les ordinateurs étaient loin de ce qu'ils sont aujourd'hui ! », compare Frédéric Holweck, enseignant-chercheur en mathématiques à l'UTBM / ICB. L'ordinateur quantique donne d'ores et déjà la possibilité aux théoriciens de tester leurs modèles mathématiques pour expliquer les principes quantiques, et d'obtenir des preuves de concept en un temps record. « Depuis quelques années, l'ordinateur quantique change la dynamique de la recherche, parce que son fonctionnement est différent, c'est très intéressant d'un point de vue scientifique. Il est aussi utilisé dans l'enseignement, pour lequel il fait entrer un peu d'expérimentation dans la théorie, et

rend ainsi les choses moins abstraites. » Si Google et Amazon vendent tout accès à leurs machines, IBM propose une connexion gratuite, limitée à dix minutes par mois. « Cela paraît peu, mais c'est en réalité amplement suffisant pour produire des calculs qui, une fois les tests préparés sur des simulateurs, ne demandent parfois que quelques secondes ! »

L'ordinateur quantique n'est pas qu'un moyen de produire plus vite des résultats. En réalisant des calculs de façon différente, il donne avant tout la possibilité de résoudre des problèmes complexes auxquels ne saurait s'attaquer un ordinateur classique. L'exemple du voyageur de commerce illustre bien cette différence : à partir d'une liste de villes à visiter sur une région, l'ordinateur quantique peut organiser la tournée du commercial de façon optimale, en effectuant moins d'opérations qu'un ordinateur classique, qui procéderait par force brute en essayant

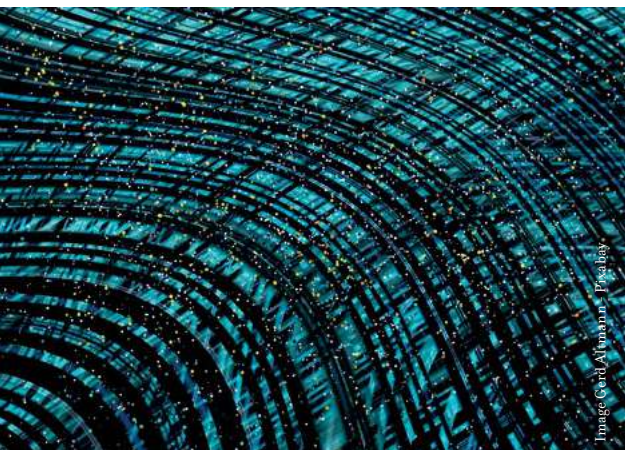




Image Pete Linforth - Pixabay

toutes les combinaisons. L'ordinateur quantique peut simultanément explorer différentes solutions.

« Ce n'est pas seulement une question de puissance, ce sont d'autres chemins pris », souligne Frédéric Holweck. Sur ces chemins pavés de propriétés quantiques, les qubits, les plus petites unités de stockage d'information quantique, équivalents des bits de l'informatique classique, sont dans un état de superposition qui donne la possibilité d'effectuer des calculs massifs en parallèle, et de réaliser ainsi des opérations inédites. Classique ou quantique, ce sont des systèmes à deux niveaux. Mais là où un algorithme classique élabore des combinaisons à partir des deux porteurs d'information que sont les chiffres 0 et 1, un algorithme quantique travaille sur des valeurs comportant plusieurs possibilités simultanées. N'oublions pas que ce sont les probabilités qui établissent les règles dans le monde quantique...

« Des dispositifs comptant plus de deux niveaux sont même possibles, ils permettent de traiter la même quantité d'informations en utilisant un nombre inférieur de systèmes élémentaires. On parle dans ce cas de *qubits* », précise Bruno Bellomo à l'Institut UTINAM.

À deux ou à plusieurs niveaux, dans tous les cas les systèmes d'information quantiques reposent sur la superposition d'états et l'intrication de particules de matière, comme les atomes d'aluminium sur lesquels a été créé le premier prototype de processeur quantique, à l'université Yale, en 2009.

MISE EN CONTEXTE

Frédéric Holweck travaille à la représentation géométrique de phénomènes tels que la contextualité, qui stipule que, lorsqu'on mesure par exemple la position ou la vitesse d'une particule, cette mesure dépend du contexte dans lequel elle aura été établie. « La mesure est aléatoire, c'est un pur phénomène probabiliste. » Probabiliste, et déroutant pour nos esprits cartésiens. Cela reviendrait à dire, à l'échelle de notre monde, que le fait de poser des questions à un individu sur ses

caractères physiques modifierait ces caractères au fur et à mesure des questions : si on lui demande la couleur de ses yeux, sa taille et son poids, et ensuite la couleur de ses cheveux ou sa pointure, la couleur de ses yeux ne sera plus forcément la même. Une idée dérangement, alors que la contextualité et l'idée que l'observation influence la chose observée existent cependant bien dans le monde classique. Si un cuisinier ouvre son four pour vérifier la cuisson d'un soufflé au fromage,

il fait entrer du froid dans le four, ce qui fait instantanément retomber le soufflé. La chose observée n'est donc pas la même, avant et après la mesure. Mais en physique quantique, le postulat est plus fort. La mesure et le contexte ne modifient pas la réalité, ils en définissent le sens. Autrement dit, il n'y a pas de réalité physique, au sens classique du terme, avant l'opération de mesure et hors d'un contexte expérimental (ensemble des mesures faites avant ou après).

L'un des avantages de l'ordinateur quantique est sa faible consommation énergétique, moindre que supposée au départ. Pourtant le zéro absolu, soit environ -273 °C, est la règle pour un fonctionnement adiabatique de l'ordinateur quantique, c'est-à-dire ne produisant aucun transfert thermique entre un système et son environnement. Une nécessité, car la perte d'énergie fait partie des bruits susceptibles d'introduire de la décohérence dans les systèmes. La réfrigération et le maintien au froid représentent cependant beaucoup moins d'énergie que la consommation d'un ordinateur classique.

JEUNES CHERCHEURS EN ENTREPRISE

Du domaine de la physique, le quantique a donc naturellement investi celui de l'informatique, favorisant la création de *start-up* ou le développement d'activités existantes. C'est ainsi qu'Hamza Jaffali et Henri de Boutray, après avoir chacun réalisé une thèse en informatique à l'UMLP / Institut FEMTO-ST, ont rejoint l'équipe de ColibriTD. La mission de la *start-up* parisienne s'oriente dans deux directions : mettre au point des algorithmes pour la résolution de problèmes industriels concrets, et accompagner les entreprises à faire leur entrée dans le monde quantique. Dans ce contexte, les échanges avec le monde académique sont actifs, comme en témoignent

PARLEZ-VOUS QUANTIQUE ?

Pour qu'un ordinateur puisse exécuter un programme, il est nécessaire de formuler des instructions dans une langue intelligible pour lui : une succession de 0 et de 1.

Plusieurs couches de traitement de l'information sont nécessaires pour parvenir à ce langage machine, de même à l'inverse, pour que les informations reçues en retour soient accessibles à un utilisateur humain.

Pour chacun de ces niveaux, un interpréteur ou un compilateur est un programme chargé d'effectuer une traduction dans le langage requis. Cet empilement de niveaux de langages intermédiaires, bien connu en informatique classique,

reste encore dans une large mesure à inventer et à perfectionner pour les besoins de l'ordinateur quantique.

En France, la conception et le développement de cette « pile quantique » sont au cœur du projet EPiQ, développé dans le cadre du Plan quantique. « Il s'agit de réunir les chercheurs aguerris dans le domaine de l'informatique quantique, et qui peuvent apporter une expertise propre à chacune des couches de cette pile quantique », explique Alain Giorgetti, enseignant-chercheur en informatique à l'UMLP / Institut FEMTO-ST. Investi dans des aspects de « vérification », le chercheur apporte la

preuve de bonnes propriétés d'un programme, par la démonstration mathématique, elle-même assistée par ordinateur (classique). L'adaptation de ces techniques de preuve aux programmes quantiques fait partie de la couche supérieure de la pile quantique. Alain Giorgetti souligne l'intérêt du projet :

« L'ordinateur quantique n'atteint pas encore les performances voulues, car il ne dispose pour l'instant que de quelques qubits, et produit des erreurs parce qu'il fonctionne dans un environnement bruyé. Mais créer la pile quantique permet de prendre de l'avance, et de se tenir prêt pour accompagner ses futurs développements. »

Contacts :

Institut UTINAM
UMLP / CNRS
Bruno Bellomo
Tél. +33 (0)3 81 66 69 09
bruno.bellomo@univ-fcomte.fr

LmB – Laboratoire de mathématiques
de Besançon - UMLP / CNRS
Uwe Franz
Tél. +33 (0)3 81 66 63 17
uwe.franz@univ-fcomte.fr

Institut FEMTO-ST
UMLP / SUPMICROTECH / UTBM / CNRS
Département Optique
Maxime Jacquot / Mayeul Chipaux
Jean-Marc Merolla
Tél. +33 (0)3 63 08 24 16 / 66 60 39 / 66 64 18
maxime.jacquot@femto-st.fr
mayeul.chipaux@femto-st.fr
jm.merolla@femto-st.fr

Département DISC
Alain Giorgetti
Tél. +33 (0)3 81 66 66 60
alain.giorgetti@femto-st.fr

ICB – Laboratoire interdisciplinaire
Carnot de Bourgogne
UBE / UTBM / CNRS
Frédéric Holweck
Tél. + 33 (0)3 84 58 20 11
frederic.holweck@utbm.fr

ColibriTD
Hamza Jaffali / Henri de Boutray
Tél. + 33 (0)6 98 85 36 29
hamza.jaffali@colibritd.com
henri.de.boutray@colibritd.com

les liens se prolongeant entre les jeunes chercheurs et leurs anciens directeurs de thèse, Frédéric Holweck, Alain Giorgetti et Jean-Marc Merolla.

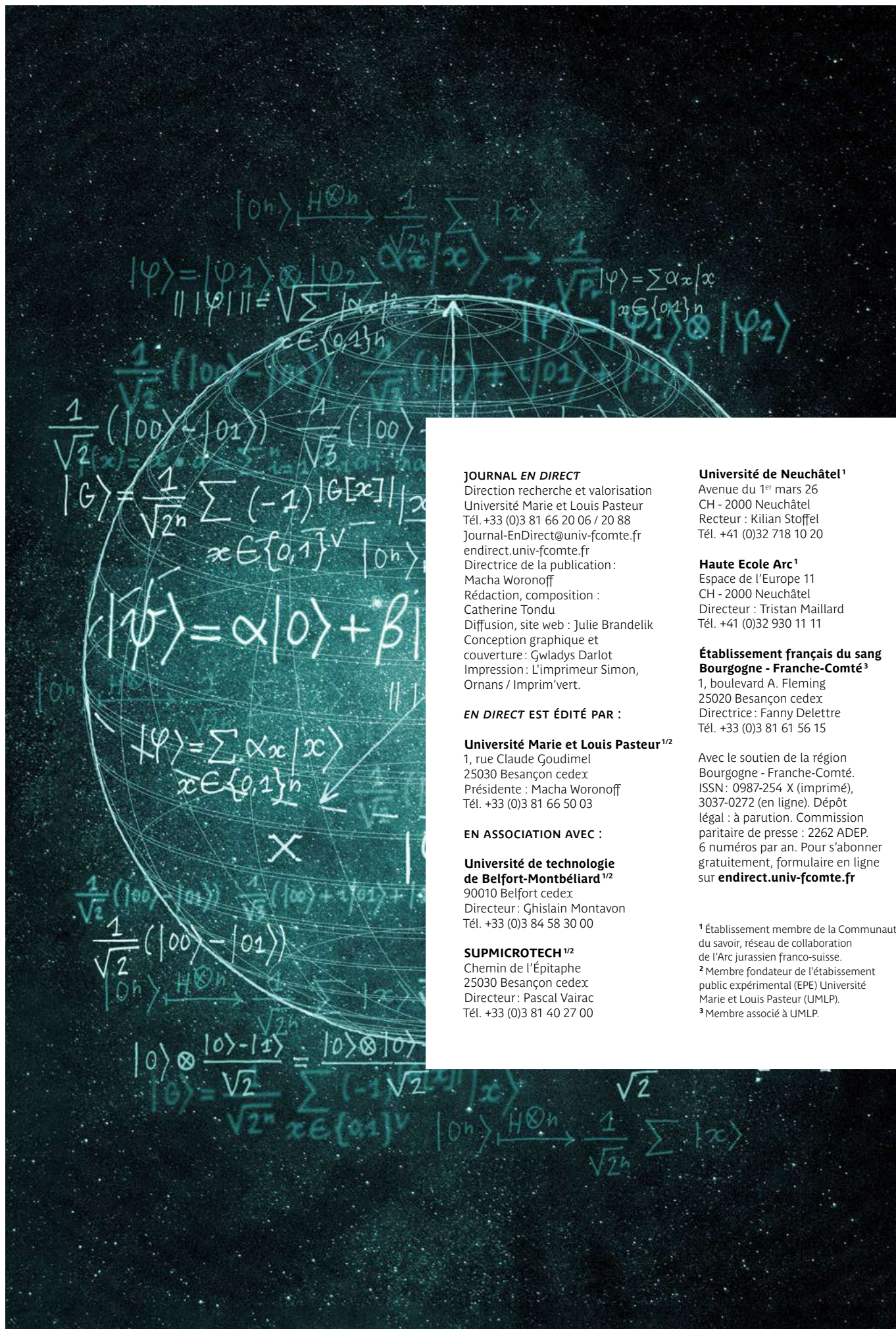
La boucle est bouclée. Les investigations peuvent continuer.

La majorité des ordinateurs quantiques accessibles sur le marché se situe aux alentours de 40 qubits, une capacité d'exécution pour laquelle les algorithmes développés chez ColibriTD sont adaptés. Henri de Boutray met les chiffres en contexte : « Avec 6 qubits, il est possible de résoudre des équations différentielles simples, comme celles qui traduisent la déformation mécanique des matériaux ou qui sont utilisées pour établir les prévisions météo. Avec 40 ou 50 qubits, on entre dans le domaine des équations différentielles à plusieurs dimensions, aptes à résoudre des problématiques de recherche ou industrielles. » Du côté du développement des machines, les ordres de grandeur deviennent vite hallucinants, par exemple chez IBM, dont les ordinateurs affichaient 5 qubits il y a trois ans, entre 100 et 200 qubits aujourd'hui, et annoncent 1 000 qubits pour 2026, des valeurs indiquées avec corrections d'erreurs. « Il y a quelques années, un ordinateur quantique a réussi à factoriser le chiffre 15, c'était une première avec des photons ! C'était la preuve de sa capacité à implémenter l'algorithme quantique de Shor, qui en factorisant de très grands nombres entiers, pourrait défier la sécurité des systèmes de cryptographie actuels. Mais pour que cet algorithme devienne réellement une menace, son implémentation nécessiterait des centaines de milliers de qubits ! » complète Hamza Jaffali.

De leur côté, les deux docteurs en informatique travaillent à la mise au point d'algorithmes quantiques susceptibles de résoudre des problématiques de production industrielle, comme la simulation de crash de véhicules pour BMW, ou la simulation de phénomènes de combustion dans les réacteurs d'avions avec ONERA, le centre français de recherche aérospatiale.

« Ces travaux permettent de montrer aux industriels l'intérêt de l'approche quantique, et en même temps de capitaliser des connaissances sur les algorithmes et les systèmes. »

Ces savoirs et ces compétences donneront une avance certaine aux chercheurs, lorsque le quantique arrivera... Quand ?



JOURNAL EN DIRECT

Direction recherche et valorisation
Université Marie et Louis Pasteur
Tél. +33 (0)3 81 66 20 06 / 20 88
Journal-EnDirect@univ-fcomte.fr
endirect.univ-fcomte.fr

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

EN DIRECT EST ÉDITÉ PAR :

Université Marie et Louis Pasteur^{1/2}

1, rue Claude Goudimel
25030 Besançon cedex
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
Directeur : Tristan Maillard
Tél. +41 (0)32 930 11 11

Établissement français du sang Bourgogne - Franche-Comté³

1, boulevard A. Fleming
25020 Besançon cedex
Directrice : Fanny Delettire
Tél. +33 (0)3 81 61 56 15

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

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

² Membre fondateur de l'établissement
public expérimental (EPE) Université
Marie et Louis Pasteur (UMLP).

³ Membre associé à UMLP.