

en DIRECT

LE JOURNAL DE LA RECHERCHE ET DU TRANSFERT DE L'ARC JURASSIEN - NUMÉRO 302 - SEPTEMBRE - OCTOBRE 2022



GRAND FORMAT [IDÉES LUMINEUSES]

DÉCLINAISONS COULEUR DU LASER

ASTRONOMIE

Les fabuleuses aventures de James-Webb et de Gaia

PUBLICATION

Tirer les leçons éthiques de la pandémie

RÉFLEXION [EXISTENTIELLE]

Revenir aux origines de l'homme pour construire l'avenir

PARCOURS [CHRONOMÉTRÉ]

SUPMICROTECH ENSMM : 120 ans, précisément



EN DIRECT

NUMÉRO 302 - SEPTEMBRE-OCTOBRE 2022

3 | **ACTUALITÉS**

- Les fabuleuses aventures de James-Webb et de Gaia
- Sport ou *esport*, telle est la question
- Des aires protégées par milliers
- Le concept de science ouverte prend de l'envergure
- Des projets épaulés par la Communauté du savoir, en toute simplicité
- Tirer les leçons éthiques de la pandémie
- Une démarche scientifique fédérative pour mieux étudier les socio-écosystèmes

10 | **RÉFLEXION [EXISTENTIELLE]**

Revenir aux origines de l'homme
pour construire l'avenir

14 | **PARCOURS [CHRONOMÉTRÉ]**

SUPMICROTECH ENSMM : 120 ans, précisément

16 | **GRAND FORMAT [IDÉES LUMINEUSES]**

Déclinaisons couleur du laser

LES FABULEUSES AVENTURES DE JAMES-WEBB ET DE GAIA

Le 11 juillet, le président américain Joe Biden dévoilait la première image prise par le télescope spatial James-Webb.

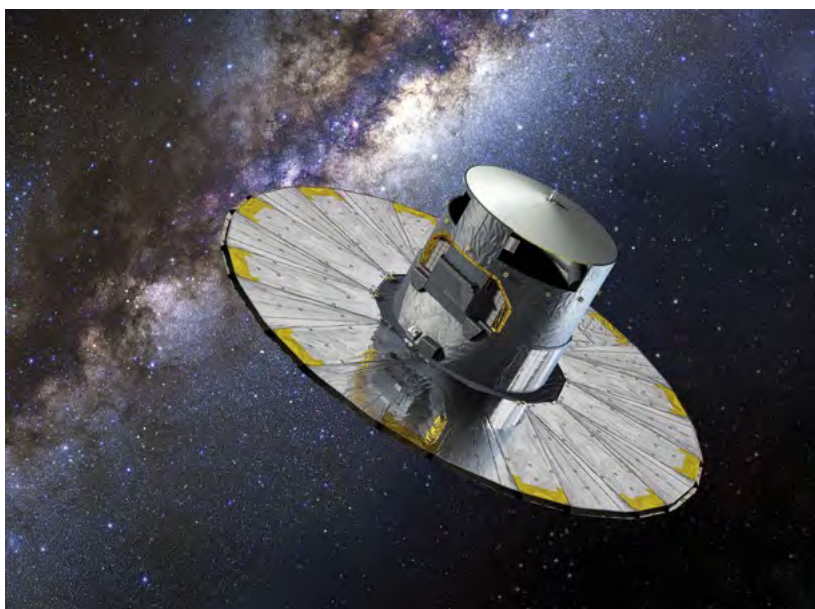
À peine un mois plus tôt, le 13 juin, un communiqué plus discret de l'Agence spatiale européenne (ESA) annonçait la publication du premier catalogue complet de la mission Gaia, concernant la Voie lactée. Ces instruments bien différents, et néanmoins complémentaires, confirment de façon spectaculaire l'intérêt de mener des observations depuis l'espace. James-Webb et Gaia sont tous deux à l'origine d'avancées majeures, dont l'astronomie devrait bénéficier pendant des décennies.

Depuis sa mise en orbite fin 2013, Gaia passe le ciel au crible de façon systématique et recense tous les objets célestes placés dans sa ligne de mire, des objets dont elle étudie la distance, la position, le mouvement et la composition chimique. Le premier catalogue complet issu de la mission met aujourd'hui ces données à la disposition de l'ensemble de la communauté scientifique, sous la forme d'une carte en trois dimensions qui représente environ 1 % de la Voie lactée.

Un petit chiffre qui masque une réalité impressionnante : l'inventaire de 1,8 milliard d'étoiles, de 500 000 astéroïdes, et de millions d'autres corps célestes, dont l'existence était pour certains jusque-là prédite par les modèles mathématiques mais non attestée par les observations, voire insoupçonnée. Les investigations de Gaia s'étendent même au-delà des limites de la Voie lactée, avec entre autres résultats la détection d'un million de galaxies et de six millions de « candidats » quasars,

des noyaux de galaxies très actifs, situés à des milliards d'années-lumière de la Terre, dont la nature demande ici à être confirmée par des données complémentaires. Astrophysicienne à l'Observatoire de Besançon, Annie Robin est l'une des spécialistes impliqués dans la mission Gaia.

imbattable en termes de précision et de profondeur de champ. » Les performances de James-Webb sont avérées jusqu'à des distances de 13 milliards d'années-lumière, un voyage dans l'espace et dans le temps propulsant les observateurs quasiment aux origines de la formation de l'univers...



La sonde Gaia © ESA

« Ce catalogue est le plus complet jamais réalisé sur la Voie lactée, et s'enrichit au fur et à mesure de l'analyse des données. Il devient le système de référence spatial pour tous les observatoires et les télescopes du monde. » Comme James-Webb, lui qui a pour vocation de cibler de petites zones ou certains objets de manière précise : si Gaia scanne le ciel, James-Webb, lui, l'approche en mode zoom. Il est équipé d'un miroir de 6,5 m de diamètre, contre 2,4 m pour son prédécesseur Hubble, et est à même de capter la lumière infrarouge émise par des objets extrêmement lointains. « C'est un instrument extraordinaire,

Chacun sur son orbite, Gaia, la sonde européenne, et James-Webb, le télescope américain mé-tissé de technologies canadienne et européenne, poursuivent leurs aventures en parallèle.

À n'en pas douter, l'un comme l'autre jalonneront les prochaines années de connaissances et de découvertes passionnantes pour l'astronomie.

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

SPORT OU ESPORT, TELLE EST LA QUESTION

Le sport électronique, ou *esport*, a-t-il sa place aux Jeux olympiques ? La question a trouvé une certaine réponse avec l'organisation des *Olympic Virtual Series* en marge des JO, comme à Tokyo en 2021. Une compétition d'un nouveau genre portant la marque des cinq anneaux, pour laquelle le CIO applique ses critères de sélection : des jeux vidéo correspondant à des pratiques sportives, et répondant aux valeurs et aux règles de l'olympisme. Parmi les élus, *Zwift* pour le cyclisme, *Virtual Regatta* pour la voile ou encore *eBaseball*. La problématique reste cependant entière et le débat ouvert entre partisans et détracteurs de la présence de l'esport aux JO. Elle pose d'emblée la question de la définition du terme *esport*. L'esport est une manière compétitive de jouer aux jeux vidéo, qui exige, selon ses pratiquants, concentration, dextérité, motricité et entraînement, parfois intensif. Il ne se limite pas à des jeux de sport, mais concerne aussi par exemple des jeux de stratégie. Il fait l'objet de compétitions

en présentiel ou en ligne, entre plusieurs adversaires ou entre équipes. La confusion paraît donc réductrice pour l'esport, tout comme le seraient les représentations qui décrivent des pratiquants de jeu vidéo affalés sur leur canapé une manette à la main et une bière dans l'autre, à l'opposé de l'image du sportif aiguisant ses muscles dans les stades.

LES RÉACTIONS DES LECTEURS DE LEQUIPE.FR

Dans une enquête qu'il a menée dans le cadre de sa thèse au laboratoire C3S de l'université de Franche-Comté, consacrée aux représentations médiatiques de l'esport, Nicolas Voisin a analysé les réactions des lecteurs de *lequipe.fr* aux articles parus sur la question entre août 2017 et septembre 2021. Ses conclusions montrent que de nombreux fans de sport s'opposent à l'introduction de l'esport aux Jeux olympiques, jugeant que la pratique d'un jeu vidéo, même

à haut niveau, ne s'apparente pas à un sport. Surtout, cette pratique menacerait un idéal sportif inconditionnellement associé à l'effort physique. Si les adeptes d'esport, soucieux de démontrer la dimension sportive de leur pratique, argumentent en réaction, la plupart d'entre eux ne défendent pas l'introduction de l'esport aux Jeux. Certains s'y opposent même, estimant que les compétitions virtuelles n'ont pas leur place aux JO, ou craignant que leur pratique soit dénaturée par une institution sportive opportuniste. Et si la détention de la propriété intellectuelle des jeux vidéo par les éditeurs, l'absence de fédération internationale d'esport reconnue ou le choix des jeux sont des obstacles au rapprochement, il n'en reste pas moins que les relations tissées peuvent être l'occasion pour l'esport d'accélérer sa démocratisation et sa légitimation en tant que pratique sportive, et pour le CIO de s'ouvrir aux tendances actuelles, et par là même de retrouver les faveurs du public jeune, dont l'intérêt pour le sport olympique a tendance à s'émousser.

Les résultats de l'enquête de Nicolas Voisin ont été présentés lors du colloque *Esport : du divertissement à l'olympisme*, organisé par le CEROU en juin dernier à Besançon, dont les échanges pourront contribuer à la réflexion actuellement menée sur la question de l'esport aux Jeux olympiques.



Photo INTEL - ESL

Contact :
Laboratoire Culture, sport, santé,
société - C3S
Université de Franche-Comté
Nicolas Voisin
Tél. + 33 (0)6 38 39 37 95
nicolas.voisin@univ-fcomte.fr

DES AIRES PROTÉGÉES PAR MILLIERS

Pas moins de 5 923 aires protégées sont recensées en France, couvrant près de 35 % de son territoire terrestre et marin¹. Parcs nationaux, parcs naturels régionaux, réserves naturelles nationales ou régionales, sites Natura 2000, réserves biologiques en forêt, arrêtés préfectoraux de protection de biotopes..., la longue liste des labellisations, quelle que soit leur nature juridique et administrative, a de quoi donner le tournis aux élus et aux citoyens qui ont bien du mal à s'y retrouver. « Certaines communes métropolitaines peuvent compter jusqu'à onze statuts différents ! », témoigne Damien Marage, enseignant-chercheur en géographie à l'université de Franche-Comté / laboratoire ThéMA, dont les aires protégées sont le domaine d'expertise. Les surfaces se superposent et se croisent, comme les ensembles et sous-ensembles dans les problèmes de mathématiques. Ce « millefeuille de labellisations » s'explique par la création et l'adoption de nouveaux statuts d'aires protégées au fil des années. Un héritage dont on ne peut faire abstraction mais qui se révèle parfois pesant, car sur le terrain, les contraintes se multiplient et les réglementations se heurtent. « Et les demandes de labellisation ne sont pas toujours formulées de façon éclairée, ce qui apporte encore de la complexité à la situation, relève Damien Marage. Car l'obtention d'un label suppose



des actions et des logiques particulières, qui peuvent décontenancer. » Bien définir un projet et ses objectifs apparaît donc primordial pour obtenir une labellisation qui corresponde aux intentions et aux capacités de gestion des acteurs concernés.

SE CONCERTER POUR ÉTABLIR DES RÈGLES

La gouvernance est un levier d'action à privilégier pour aider à bien vivre de multiples labellisations de territoires. Car si le droit commun s'applique dans certaines aires protégées, c'est aux instances locales qu'il appartient d'en fixer les règles d'usage. Un volant de liberté qui permet de prendre en considération les attentes, les besoins et les spécificités de terrain. Collectivités et associations, agriculteurs, chasseurs, promeneurs peuvent ainsi engager une réflexion commune, selon une approche

par socio-écosystèmes qui se doit d'intégrer les premiers concernés, les êtres vivants qui peuplent ces espaces.

L'objectif ? Élaborer un document unique de gestion approuvé par tous. L'exercice n'est pas simple, et gagnera à être orchestré par des responsables et supervisé par un tiers à la neutralité incontestée, chargé d'entretenir le dialogue et la confiance entre tous les participants.

Mais en donnant l'opportunité d'homogénéiser l'ensemble des règles, la démarche permet de faire abstraction des différents niveaux de labellisations et de n'avoir à considérer en réalité, sur le terrain, qu'une seule et même aire protégée.

¹ Source : Base de données mondiales des aires protégées, 2021

Contact :
Laboratoire ThéMA
Université de Franche-Comté
Damien Marage
Tél. + 33 (0)3 81 66 54 02
damien.marage@univ-fcomte.fr

CREDO

LE CONCEPT DE SCIENCE OUVERTE PREND DE L'ENVERGURE

La science ouverte est une idée qui fait son chemin, et qui prend même deux directions complémentaires. La première est de rendre la connaissance publique et accessible au plus grand nombre. C'est un devoir de la science envers la société, qui se traduit par l'organisation de manifestations telles que la Nuit des chercheurs ou la Fête de la science, par l'édition de documents, de magazines ou de vidéos à destination des jeunes ou des moins jeunes. Si ces expériences de démocratisation de la science existent depuis de nombreuses années, il s'agit aujourd'hui d'aller plus loin en donnant la possibilité à tous

attendue de la science, et pourra aider à restaurer une confiance mise à mal par le développement des *fake news*, notamment depuis la crise sanitaire de la Covid-19. L'accès aux données suppose qu'elles soient mises à disposition au bon endroit et au bon moment : c'est là la seconde direction à suivre pour la science ouverte. « Nous avons à sauvegarder les données de la recherche d'une façon systématique, organisée et efficace, c'est une condition de base pour pouvoir les rendre plus facilement accessibles et utiles », commente Thérèse Leblois, chargée de mission Science ouverte et intégration scientifique à l'université de Franche-Comté,

des données de la recherche. Ouvert à l'ensemble des chercheurs de la fédération UBFC, ce portail est désormais opérationnel et sera inauguré en octobre 2022. Cette réalisation emblématique s'inscrit dans une démarche engagée de manière formelle à l'université, entre autres avec l'adoption d'une charte qui en pose les principes, et dans laquelle sont notamment impliqués le Service commun de documentation (SCD), dat@UBFC, les Presses universitaires de Franche-Comté (PUFC) et la Direction des services informatiques et numériques (DSIN). Cette charte pour la science ouverte de l'université de Franche-Comté est également destinée à favoriser la publication en libre accès et le dépôt dans l'archive institutionnelle HAL-UFC (administrée par le SCD), ainsi que la création par les chercheurs d'identifiants pérennes (IdHAL et identifiant ORCID), nécessaires à l'identification unique de chaque auteur ou créateur de données. La mise en œuvre d'une politique de science ouverte est fortement encouragée par les instances nationales, comme en témoignent la création du site Ouvrir la science et celle de la plateforme nationale Recherche Data Gouv. Elle est partagée par de grands organismes de recherche tels que le CNRS, l'INSERM, l'INRAE ou encore le CEA.



de remonter aux sources, de consulter des publications, de comparer des informations, toutes choses facilitées par internet. Cette ouverture apparaît encore plus nécessaire dans le contexte d'une transparence

chercheuse à l'Institut FEMTO-ST, qui sait donc bien de quoi il retourne.

Un premier projet, à l'échelle de l'OSU THETA, a été étendu pour définir le portail dat@UBFC, qui est un catalogue de description

Contact :
Université de Franche-Comté
Thérèse Leblois
Chargée de mission Science ouverte
et Intégrité scientifique
Tél. + 33 (0)3 63 08 24 56
therese.leblois@univ-fcomte.fr

DES PROJETS ÉPAULÉS PAR LA COMMUNAUTÉ DU SAVOIR, EN TOUTE SIMPLICITÉ

Créée en 2014, la Communauté du savoir (Cds) dispose d'un budget aujourd'hui directement abondé par les établissements d'enseignement supérieur de l'Arc jurassien qui la constituent¹, et qui ont renouvelé leur engagement en janvier 2022 pour une durée de trois ans. La Cds veut aider les échanges transfrontaliers en matière de recherche, de formation et d'innovation, une ambition qui intéresse aussi l'entreprise. Pour favoriser l'embauche d'un stagiaire dans un établissement membre de l'autre côté de la frontière, la Cds facilite les démarches entre les deux pays et apporte un soutien financier aux étudiants. Le réseau fait par ailleurs référence au tissu économique de l'Arc jurassien pour donner un cadre cohérent à ses actions. Société et industrie 4.0 et Nouveaux enjeux territoriaux sont ainsi les axes prioritaires retenus pour ses appels à projets, dont le prochain sera lancé en novembre. L'objectif est d'apporter une assistance technique ou un

soutien financier à des projets purement académiques ou en lien avec l'industrie, dès lors qu'ils impliquent des acteurs de part et d'autre de la frontière. La Cds révèle ici les atouts de son organisation : des formalités administratives réduites, des interlocuteurs réactifs et un accompagnement de proximité.

RETOUR D'EXPÉRIENCE

Enseignante-chercheuse en sciences du langage - sciences de l'information et de la communication à l'université de Franche-Comté / laboratoire ELLIADD, Séverine Équoy-Hutin a saisi l'opportunité offerte par le réseau pour organiser, en collaboration avec sa collègue Caroline Venaille, une journée d'étude sur le thème *Voir et écouter la ville*. Cet événement pluridisciplinaire réunissait en avril dernier à Besançon des universitaires et des professionnels français et suisses autour de la question des perceptions visuelles et

sonores générées par l'espace urbain. « Outre la prise en charge financière de la journée, la simplicité du montage du projet et la liberté d'action accordée encouragent à concrétiser ses idées. » Comme celle de créer l'occasion d'échanger avec des collègues lors d'une rencontre, qui pourra être le point de départ de nouvelles collaborations. Julie Devès côté France, et Alex Pelletier côté Suisse, sont les deux coordinateurs de la Cds, dont ils rappellent la présence sur les réseaux sociaux pour suivre ses actualités et bientôt tout connaître du prochain appel à projets. Et adopter le réflexe Cds !

¹ SUPMICROTECH ENSMM, la Haute Ecole Arc (HE-Arc), la Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du canton de Vaud (HEIG-VD), la Haute Ecole pédagogique des cantons de Berne, du Jura et de Neuchâtel (HEP BEJUNE), l'Université de Franche-Comté (UFC), l'Université de Neuchâtel (UniNE) et l'Université de technologie de Belfort – Montbéliard (UTBM).



Contacts :
Communauté du savoir
www.communautesdusavoir.org

Pôle France
Julie Devès
Tél. + 33 (0)3 81 66 52 93
julie.deves@univ-fcomte.fr

Pôle Suisse
Alex Pelletier
Tél. +41 (0)32 930 11 49
alex.pelletier@he-arc.ch

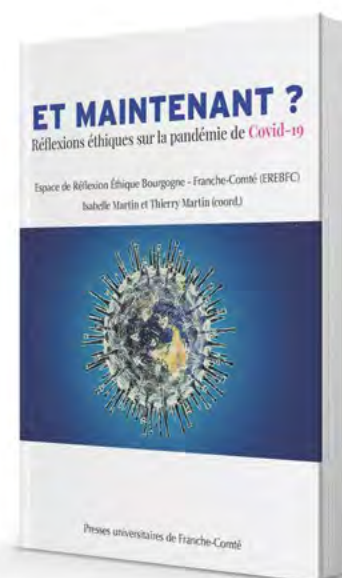
TIRER LES LEÇONS ÉTHIQUES DE LA PANDÉMIE

S'ils estiment légitime que chacun aspire à retrouver une vie débarrassée des affres de la Covid, les auteurs souhaitent avant toute chose que des leçons soient tirées de l'expérience tragique de la pandémie

Vagues successives de Covid impliquant chaque fois de nouveaux variants, confinements à répétition, rappels de vaccination, allers et retours des mesures sanitaires, des gestes barrières... il est peu de dire que, depuis ses débuts voilà plus de deux ans, la pandémie a révolutionné la vie du quotidien autant qu'elle a bousculé la marche du monde. Les effets dévastateurs du virus sur la vie même se traduisaient début juillet 2022 par le décès de 6,3 millions de personnes dans le monde et près de 558 millions de personnes impactées, selon les données compilées par l'université américaine Johns-Hopkins (source : lemonde.fr). S'il est difficile d'arrêter des chiffres et d'établir les bilans d'une situation en devenir permanent, les questionnements éthiques soulevés par la pandémie se posent, eux, de façon durable.

Et maintenant ? Réflexions éthiques sur la pandémie de Covid-19 est un ouvrage pluridisciplinaire dans lequel des praticiens et des scientifiques, pédiatres, gériatres, réanimateurs, psychiatres, orthophonistes, sociologues, philosophes, juristes abordent cette dimension transverse. Les drames que représentent la mise à l'isolement de certains enfants, jeunes ou personnes âgées, les deuils sans obsèques, les morts sans sépulture, les souffrances physiques et morales des victimes comme des soignants, l'angoisse, la peur et l'incompréhension, les suppositions, les rumeurs et les prises de décision, cet ensemble de situations interroge sur la

vulnérabilité de l'être humain comme sur celle des organisations devant une situation totalement imprévue. S'ils estiment légitime que chacun aspire à retrouver une vie débarrassée des affres de la Covid, les auteurs souhaitent avant toute chose que des leçons soient tirées de l'expérience tragique de la pandémie. « Il nous faut rester vigilants et concentrés sur la mise en lumière de notre vulnérabilité, de notre interdépendance, de l'incertitude qui est inhérente à la vie même, et sur la nécessité d'une vraie solidarité et d'une éducation à la responsabilité citoyenne individuelle et collective. » Tout comme Isabelle Martin, gériatre, et Thierry Martin, professeur de philosophie émérite de l'université de Franche-Comté, qui ont coordonné cet ouvrage, la majorité des contributeurs sont membres de l'EREBFC, l'Espace de réflexion éthique Bourgogne - Franche-Comté.



Martin I., Martin T. (coordinateurs), *Et maintenant ? Réflexions éthiques sur la pandémie de Covid-19*, Presses universitaires de Franche-Comté, 2022.

PUBLICATION

UNE DÉMARCHE SCIENTIFIQUE FÉDÉRATIVE POUR MIEUX ÉTUDIER LES SOCIO-ÉCOSYSTÈMES

Habiter la Terre suppose un certain équilibre dans ce qui la compose, du végétal au minéral, des communautés animales aux sociétés humaines, de la vie d'une bactérie à l'existence d'un écosystème. La pandémie de la Covid-19 rappelle avec force et de façon douloureuse cette loi, à tort souvent ignorée. Les crises, qu'elles soient sanitaires, financières, économiques ou écologiques, s'imbriquent les unes dans les autres. Plus généralement, les problématiques issues de fonctionnements aussi complexes que ceux qui régissent la vie sur Terre ne peuvent qu'être également complexes ; elles obligent à les aborder dans leurs différentes dimensions pour dépasser des regards forcément partiels, souvent divergents. À l'échelle locale et à titre d'exemple, comprendre et tenter d'endiguer le problème de la mortalité piscicole dans la Loue demande à mettre en lien les pratiques, qu'elles soient agricoles, industrielles ou citoyennes, les stratégies politiques, et les études scientifiques. Et à l'intérieur même de la sphère scientifique, les apports croisés de plusieurs disciplines comme l'écologie, la microbiologie, la géologie, la sociologie ou la chimie sont indispensables pour cerner ce phénomène aux multiples facettes. Cette nécessité d'un rapprochement disciplinaire pour considérer une problématique sous divers angles complémentaires est explicitée dans l'ouvrage *Socio-écosystèmes. L'indiscipline comme exigence du terrain*, dans lequel plusieurs chercheurs

témoignent de leur propre expérience. Aborder l'ensemble d'un socio-écosystème par le prisme de différentes approches scientifiques est une démarche qui a fait la preuve de sa pertinence dans des études réalisées dans l'Arc jurassien, parfois sur plusieurs décennies, et qui a pu être transposée à d'autres situations, dans d'autres régions ou sur d'autres continents, comme l'Asie ou l'Afrique. Cette approche révèle par exemple comment l'intensification des pratiques agricoles ou l'éradication de la rage chez le renard sont des facteurs qui se sont combinés pour influencer les variations de la prolifération des campagnols dans les prairies jurassiennes, et comment la transmission de l'échinococcose alvéolaire par ces rongeurs à la population humaine est facilitée par les modes de vie ou certaines caractéristiques du comportement des hommes. À l'instar de cet exemple, le livre relate des projets de recherche d'envergure impulsés au laboratoire Chrono-environnement, qui tous étayent l'intérêt de la construction de « communautés des savoirs ». Une méthode servant l'observation d'un phénomène, la compréhension des mécanismes impliqués, puis la mise à disposition d'outils de prévention adaptables selon les situations.

Giraudoux P. (sous la direction de), *Socio-écosystèmes. L'indiscipline comme exigence du terrain*, Éditions ISTE, 2022.



Le livre relate des projets de recherche d'envergure impulsés au laboratoire Chrono-environnement, qui tous étayent l'intérêt de la construction de « communautés des savoirs »



Photo Étienne Marais - Pixabay

De bilans catastrophiques en sombres perspectives, l'état de santé de la planète est d'une fragilité telle qu'elle ne peut plus être ignorée. Dans son dernier ouvrage, *Retour aux communs*, Michel Magny montre comment les fondements aux origines de l'aventure humaine sont des piliers sur lesquels s'appuyer pour envisager l'avenir de la Terre sous un jour meilleur.

RÉFLEXION [EXISTENTIELLE]

REVENIR AUX ORIGINES DE L'HOMME POUR CONSTRUIRE L'AVENIR

L'aventure humaine
a d'autres modèles
à proposer, qui, plus
respectueux des
relations entre les
êtres vivants, fondés
sur des principes plus
égalitaires entre les
hommes, ont permis
le développement de
l'être humain

À la fin des années 1960, des scénarios élaborés par des chercheurs du MIT¹ interrogeaient sur l'avenir de la planète. Ils convergeaient tous vers la même conclusion : la croissance économique et démographique observée depuis l'après-guerre n'apparaissait pas durable dans un monde fini. Dérangeant, le « rapport Meadows » est mis sur la touche avant de ressortir tristement victorieux des tiroirs en 2012. Cinquante ans ont suffi à valider ses projections, sur la base d'une population mondiale passée de 3 à 7 milliards d'individus entre 1960 et 2010. Si le PIB mondial moyen a été multiplié par 16 depuis le début de notre ère, si des progrès indéniables ont été accomplis dans de nombreux domaines, ces évolutions ne peuvent masquer des inégalités toujours plus criantes à l'échelle mondiale.

Les principaux indicateurs de santé de la planète ont viré au rouge : la Terre a montré ses limites, que l'homme a allègrement franchies sans en prendre conscience, sans vouloir y croire ou s'en préoccuper. Les systèmes économiques et industriels fondés sur une exploitation forcenée des ressources vacillent sur leurs bases... Dans son dernier ouvrage, *Retour aux communs*, Michel Magny montre que l'aventure humaine a d'autres modèles à proposer. Plus respectueux des relations entre les êtres vivants, fondés sur des principes plus égalitaires entre les hommes, ces modèles ayant permis le développement de l'être humain sont une source d'inspiration pour envisager d'« habiter la Terre autrement »,

¹ Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA

et ainsi de préserver la planète. Directeur de recherche émérite au laboratoire Chrono-environnement, médaille d'argent du CNRS, Michel Magny est spécialiste des changements climatiques et environnementaux, et de leurs interactions avec l'histoire des sociétés depuis le dernier maximum glaciaire. Il explique dans son ouvrage les évolutions humaines et environnementales depuis leurs origines ancestrales jusqu'à aujourd'hui : une longue histoire dans laquelle se trouvent des clés essentielles pour comprendre la situation planétaire actuelle et réfléchir à l'avenir.

CONSTATS PLURIDISCIPLINAIRES

Michel Magny combine ses propres résultats de recherche aux apports d'autres disciplines scientifiques pour étayer sa démonstration d'une conception du monde vouée à l'échec, ce dont la situation sociale et environnementale actuelle fournit des symptômes aussi éclatants que dramatiques. Faisant abstraction de tout pessimisme ou optimisme, Michel Magny en appelle à la lucidité pour repenser profondément notre vision du monde, qu'un retour vers le passé peut aider à imaginer. « Les données accumulées par la paléanthropologie, l'archéologie, la biologie ou la primatologie au cours du dernier siècle, et surtout de ces cinquante dernières années, remettent en cause l'idée d'une évolution linéaire amenant à la civilisation humaine ; elles montrent au contraire un large buissonnement de types de sociétés au cours des millénaires, ce qui montre que différents choix sont possibles. » Ces recherches mettent aussi en évidence que ce sont la

coopération et l'altruisme, et non la compétition, qui ont permis aux sociétés de s'imposer dans la lutte pour l'existence, comme le suggérait Darwin dans son livre *La filiation de l'homme* (1871). Ce sont les interactions entre les membres de groupes solidaires qui ont favorisé les flux d'énergie entre les générations, l'apprentissage, la cognition, et le développement des caractéristiques biologiques de l'espèce, telles que la taille du cerveau. « C'est donc la société qui nous a rendus humains, ce qui fait d'elle notre commun originel. »

Mais la vie en société n'est pas l'apanage de l'homme, pas plus que la communication, la mémoire ou les émotions. Les observations scientifiques en accumulent les preuves sur le terrain, et la génétique montre que l'ADN, l'ARN et les protéines sont communs à tous les êtres vivants, qui disposent d'un même code génétique pour assurer le transfert d'information entre ces molécules. La souris et le riz ont même un génome de taille supérieure à celui de l'homme. Les travaux en génétique argumentent en faveur de l'existence d'une origine commune à l'ensemble du vivant, dont les premières traces apparurent sur Terre il y a 3,8 milliards d'années. Les scientifiques ont donné corps à cette très lointaine origine commune sous le nom LUCA, pour *Last Universal Common Ancestor*, un clin d'œil à Lucy, la plus célèbre ancêtre de la famille des hominidés, une jeunesse en comparaison avec ses quelque 3,1 millions d'années. C'est là notre second commun originel, témoignant qu'« être vivant, c'est avant tout

Faisant abstraction de tout pessimisme ou optimisme, Michel Magny en appelle à la lucidité pour repenser profondément notre vision du monde, qu'un retour vers le passé peut aider à imaginer

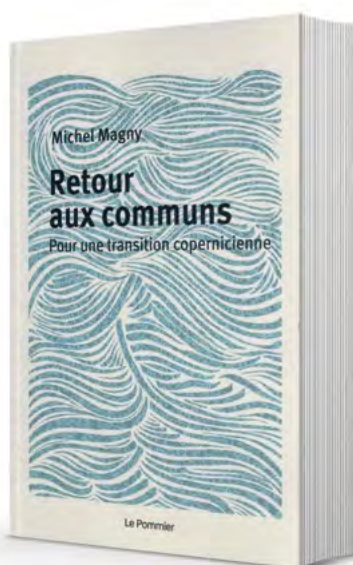


Le Doubs à ville du Pont (25) - Photo Vincent Bichet, 2018

Interdépendants
les uns des autres,
animaux, plantes,
champignons,
micro-organismes
sont embarqués
dans une «ronde du
vivant» où l'homme
doit retrouver sa
vraie place

être en interaction avec d'autres espèces et un environnement ». Interdépendants les uns des autres, animaux, plantes, champignons, micro-organismes sont embarqués dans une «ronde du vivant» où l'homme doit retrouver sa vraie place et non plus se considérer au sommet d'une hiérarchie arbitraire. Un argument chiffré à titre d'exemple : si on analyse leur teneur en carbone, constituant fondamental de toute matière vivante, les plantes représentent sur Terre 450 gigatonnes de carbone, les bactéries 70 GT, et les humains seulement 0,05 GT. Et n'est-ce pas un virus invisible à l'œil nu qui a obligé plus de 3 milliards d'êtres humains à se confiner en même temps, pendant des semaines ? Fort d'une argumentation tissée depuis les origines de

l'aventure humaine jusqu'à son histoire la plus récente, et de points de vue partagés avec de très nombreux scientifiques à l'international depuis des décennies, Michel Magny suggère de reconnaître «l'impasse où nous conduit le primat accordé à la croissance et au profit attelés à la puissance technique », pour mieux retrouver nos fondamentaux : la société et le vivant, qui sont les deux « communs » sur lesquels il lui apparaît nécessaire de s'appuyer pour adopter une nouvelle vision du monde, depuis les fonctionnements de chacun dans la sphère privée jusqu'aux décisions des institutions gouvernementales. Et de citer Einstein : « Nous ne pouvons pas résoudre les problèmes avec la même façon de penser que celle qui les a engendrés. »



Magny M., *Retour aux communs. Pour une transition copernicienne.* Éditions Le Pommier, 2022



Photo Hermann Traub - Pixabay

ÉCONOMIE HYPERCONCENTRÉE

Michel Magny montre comment l'asservissement de la nature est allé de pair avec l'asservissement de l'homme. Cette vision verticale du monde, qui s'est affirmée au cours des millénaires, voit l'homme exploiter les ressources de la planète comme jamais pour assurer sa croissance, et le pouvoir de quelques poignées d'individus régir le destin de milliers d'autres. À titre d'exemple, ces chiffres témoignant de l'hyperconcentration de l'économie, selon une étude menée par des chercheurs de l'ETH de Zürich en 2011 : à cette date, 37 millions d'entreprises étaient recensées dans le monde, dont 43 000 multinationales ; 147 d'entre elles seulement contrôlaient 40 % du chiffre d'affaires total réalisé sur la planète.

NEUF LIMITES PLANÉTAIRES

La biosphère, qui regroupe l'ensemble des êtres vivants, la lithosphère, l'hydrosphère et l'atmosphère constituent le « système Terre », par définition en évolution permanente, mais sur lequel les activités humaines pèsent au point de surpasser aujourd'hui toutes les autres influences.

L'impact de l'homme s'est ainsi considérablement amplifié depuis la

Révolution industrielle, qui marque les débuts de l'Anthropocène, et plus encore depuis la période qui s'est ouverte avec les années 1950, qualifiée de « Grande accélération ».

Pour mieux cerner la situation, neuf limites planétaires « non négociables et incontournables » ont été définies il y a quelques années par un groupe de scientifiques emmené par le Néerlandais Paul Crutzen, prix Nobel de chimie et inventeur du terme Anthropocène en 2000.

Des limites à ne pas franchir pour garantir les capacités de résilience du système Terre : le changement climatique, pour lequel la prochaine décennie sera décisive ; l'érosion de la biodiversité, qui fait craindre une 6^e extinction de masse, et dont témoigne la disparition de 68 % des populations de vertébrés entre 1970 et 2016, et de 45 % de celles des insectes entre 1970 et 2010, pour ne citer que ces chiffres issus d'un rapport publié par le WWF en 2020 ; l'anthropisation des surfaces terrestres, qui concerne déjà 83 % d'entre elles ; la perturbation des cycles de l'azote et du phosphore, dont les teneurs sont pour chacun estimées deux fois supérieures aux limites acceptables ; les ressources en eau douce, qui représente seulement 2,5 % de l'eau sur Terre et 1 % directement exploitable ; l'acidification des océans, provoquée par le contact entre la surface des eaux et une atmosphère trop chargée en CO₂ en raison des gaz à effet de serre, et qui est responsable de la fragilisation des coquilles et carapaces des organismes marins ; les aérosols atmosphériques, concernant l'émission de particules de dimensions inférieures à 2,5 µm, favorisant la pollution de l'air, elle-même à l'origine d'un décès sur cinq dans le monde ; la couche d'ozone, dont la diminution grâce à des accords internationaux signés en 1987 est un premier succès d'action collective face à une menace environnementale planétaire ; la pollution chimique qui, forte d'une infinité de cocktails aux effets inconnus, agit insidieusement sur le long terme.

Considérant ces limites, qui pour les quatre premières sont déjà franchies, et pour les autres sont en voie de l'être ou atteignent un seuil critique, les scientifiques ont estimé le jour de l'année marquant le dépassement des capacités de résilience de la Terre : en 1970, c'était le 29 décembre ; en 2019, cette date était avancée au 29 juillet.



« Non négociables et incontournables » ces neuf limites planétaires seraient à ne pas franchir pour garantir les capacités de résilience du système Terre

Contact :
Laboratoire Chrono-environnement
Université de Franche-Comté
Michel Magny
michel.magny@univ-fcomte.fr



Seul établissement d'enseignement supérieur français dédié aux microtechniques, l'ENSMM affirme sa spécificité et renforce sa visibilité en créant la marque SUPMICROTECH. Un nouveau jalon dans la chronologie de l'école d'ingénieurs bisontine, qui fête cette année ses 120 ans.

PARCOURS [CHRONOMÉTRÉ]

SUPMICROTECH ENSMM : 120 ANS, PRÉCISÉMENT

« Le champ d'activité de nos ingénieurs s'étend et se diversifie chaque année [...] Tous ces domaines ont besoin de spécialistes, parmi lesquels l'ingénieur micromécanicien a une place de choix »

Extrait d'un discours prononcé en 1955 par Pierre Mesnage, alors directeur de l'Institut de chronométrie.

Directement issues des techniques horlogères traditionnelles, les microtechniques enrichissent les savoir-faire du territoire comtois depuis de nombreuses décennies. Une évolution qui, en toute logique, forge l'histoire de l'École nationale supérieure de mécanique et des microtechniques à Besançon : le Laboratoire universitaire de chronométrie, créé en 1902, devient en 1980 et après différentes étapes l'ENSMM, un nom auquel est aujourd'hui associée la marque SUPMICROTECH. L'école d'ingénieurs s'offre ici un affichage plus lisible pour son cent-vingtième anniversaire, et affirme son identité (presque) en toutes lettres : une école d'enseignement supérieur, dédiée au domaine des microtechniques. En adoptant cette marque, l'école n'hésite pas à montrer sa spécificité, qui est aussi celle de tout un territoire, et par là même s'engage à en assurer la promotion.

Car le terme *microtechnique* est parfois difficile à cerner, surtout dès lors qu'on passe les limites régionales. Pourtant les microtechniques sont partout : capteurs, actionneurs et autres composants de taille micro- voire nanométrique ont permis le développement des *smartphones*, des robots chirurgicaux ou des horloges atomiques, pour ne citer que ces exemples ; grâce à l'apport des microtechniques et des microtechnologies, il est devenu possible de détecter finement une pollution dans l'air, d'obtenir des géolocalisations ultraprécises ou de manipuler des cellules pour la mise au point de médicaments de nouvelle génération. À l'échelle du très petit, le domaine convoque des savoirs et des compétences en mécanique, physique, électronique, mathématiques, robotique, et maintenant en intelligence artificielle, un croisement de disciplines inscrit à la maquette pédagogique de l'école, et qui forge sa culture même. « Aujourd'hui, plus que

< Extrait de la frise chronologique de SUPMICROTECH ENSMM - Photo Laura Riefolo-Weiler

REPÈRES DE TEMPS

- 1902** - Le Laboratoire universitaire de chronométrie naît à la faculté des sciences de Besançon et partage ses enseignements pratiques avec l'École nationale d'horlogerie.
- 1927** - Il devient Institut de chronométrie et de mécanique horlogère. Sous la direction de Jules Haag, l'Institut forme 1 à 3 ingénieurs par an.
- 1934** - Le diplôme est habilité pour la première fois par la CTI, la Commission des titres d'ingénieurs, chargée d'évaluer toutes les écoles d'ingénieurs françaises.
- 1942** - Le physicien Pierre Mesnage entre à l'Institut, et avec lui le couplage mécanique et électricité-électronique, qui pose les fondements du domaine microtechnique.
- 1961** - L'Institut de chronométrie accède au rang d'école nationale supérieure d'ingénieurs et devient l'École nationale supérieure de chronométrie et de micromécanique.
- 1972** - Apparition du terme *microtechnique* dans le dictionnaire *Larousse*.
- 1980** - L'ENSCM devient l'ENSMM, l'École nationale supérieure de mécanique et des microtechniques. Sept ans plus tard, elle obtient le statut d'ECPA (Établissement public à caractère administratif).
- 1996** - Inauguration des nouveaux locaux de l'ENSMM à la Bouloie.
- 2018** - L'école change de statut et devient EPCSCP (Établissement public à caractère scientifique, culturel et professionnel)
- 2019** - Pascal Vairac est nommé directeur de l'école pour un mandat de cinq ans. Inauguration de la plateforme MIFHySTO.
- 2022** - L'école délivre 250 diplômes d'ingénieur par an. Elle accède aux Responsabilités et compétences élargies (RCE). Elle conforte son positionnement en créant la marque SUPMICROTECH.

de former à un métier, il s'agit de développer des compétences complémentaires et transverses chez nos élèves, de les préparer à être agiles pour qu'ils puissent travailler dans un monde de plus en plus complexe et plein d'incertitudes », explique Pascal Vairac, directeur de SUPMICROTECH ENSMM. « L'enjeu est de donner aux futurs ingénieurs les moyens de répondre aux défis sociétaux autant qu'aux besoins du monde industriel, d'être pleinement des acteurs de demain. »

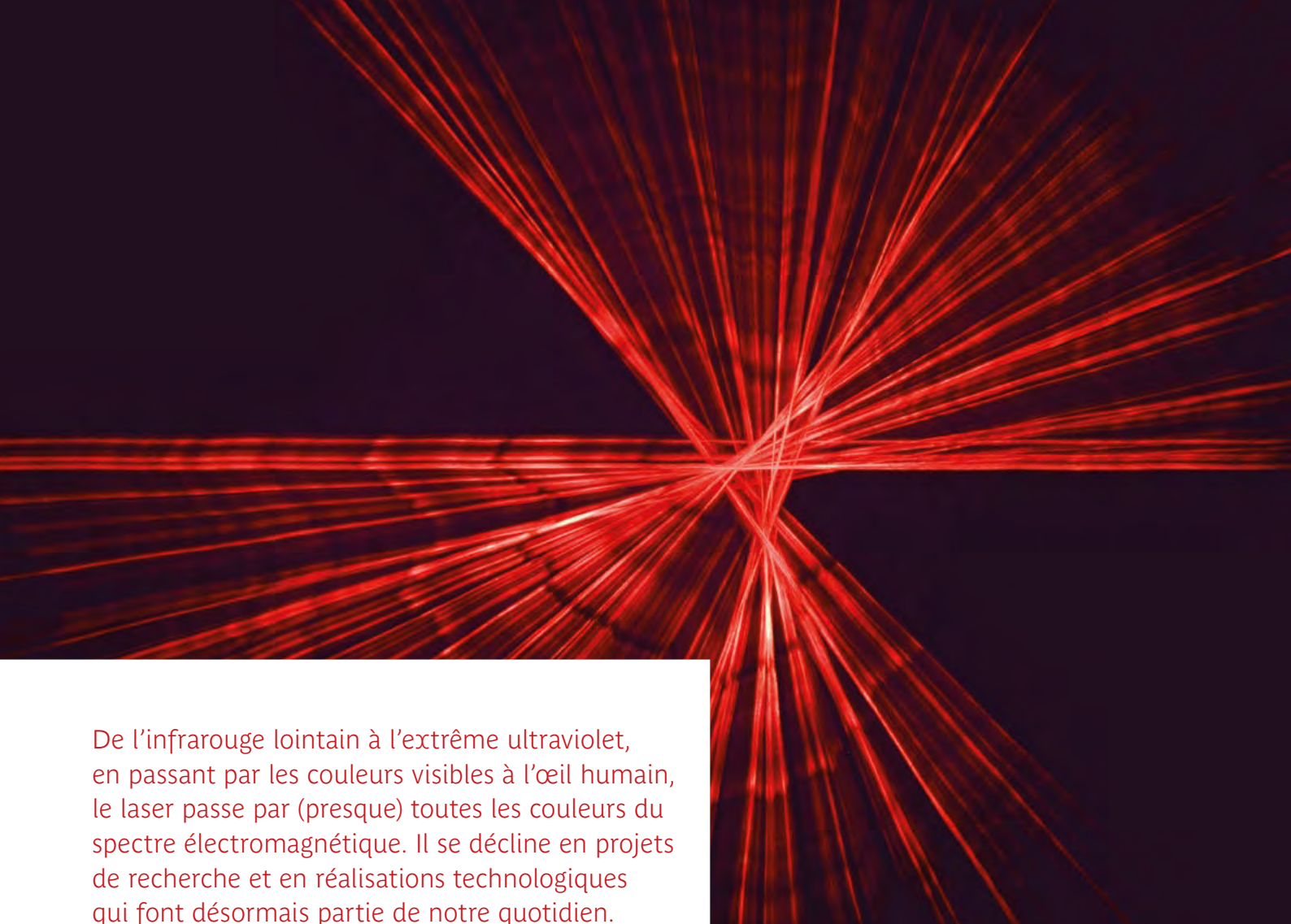
AMBITIONS À ÉCHELLES MULTIPLES

SUPMICROTECH ENSMM est la seule école d'ingénieurs dédiée aux microtechniques en France, et tous les travaux de recherche engagés par ses quelque 70 chercheurs et enseignants-chercheurs sont développés au sein de l'Institut FEMTO-ST. L'école s'emploie à intensifier

les relations qu'elle cultive de longue date avec le tissu socio-économique régional. La création du Campus des métiers et des qualifications (CMQ) Microtechniques et systèmes intelligents, opérationnel depuis 2018 et que l'école pilote, est l'une des étapes les plus récentes marquant cette volonté. Financés et labellisés par le Programme investissements d'avenir (PIA), ces campus placés à l'interface entre mondes académique et industriel sont au nombre d'une centaine en France, dont six en Bourgogne - Franche-Comté. À l'international, l'école veut renforcer sa position et son attractivité, et impulser la création d'un réseau européen sur le thème des microtechniques, avec ses partenaires académiques en Suisse, en Pologne ou encore en Allemagne. Elle entretient par ailleurs des relations avec de nombreux établissements d'enseignement supérieur à travers le monde, dont une convention signée l'an dernier avec l'université internationale

de Floride (FIU) est le dernier exemple en date. Le projet engagé par la direction, par les équipes pédagogiques et de recherche, en lien avec les entreprises et les collectivités locales, inscrit l'avenir de l'école à l'horizon 2040. La feuille de route de l'établissement s'écrit autour de mots clés tels que responsabilité, excellence, exigence, expertise, ouverture et esprit d'innovation. Sa philosophie est résumée par ces mots de Pascal Vairac, qui viennent conclure la frise chronologique en 3D élaborée à l'occasion du cent-vingtième anniversaire de l'école : « Nous avons le devoir de former des ingénieurs polyvalents, responsables et acteurs des grands défis de demain. Soyons curieux, soyons humbles. Travaillons avec passion et mettons du plaisir dans tout ce que nous allons entreprendre. »

Contact :
SUPMICROTECH ENSMM
Pascal Vairac
Tél. +33 (0)3 81 40 27 02
direction@ens2m.fr



De l'infrarouge lointain à l'extrême ultraviolet, en passant par les couleurs visibles à l'œil humain, le laser passe par (presque) toutes les couleurs du spectre électromagnétique. Il se décline en projets de recherche et en réalisations technologiques qui font désormais partie de notre quotidien.

GRAND FORMAT [IDÉES LUMINEUSES]

DÉCLINAISONS COULEUR DU LASER

À l'instar de
son rayon se
propageant dans
le vide à ce qui
nous semble être
l'infini, le laser
ne semble avoir
aucune limite

Inventé en 1960, le laser est une révolution technologique majeure, qui trouve des applications dans de nombreux domaines de la vie quotidienne ou de la science. Avec un laser, on peut découper de la peau, du verre ou de l'acier, lire un code barre ou un CD, déterminer la teneur en CO₂ de l'atmosphère, disposer d'horloges atomiques d'une formidable exactitude... À l'instar de son rayon se propageant dans le vide à ce qui nous semble être l'infini, le laser ne semble avoir aucune limite. Son incroyable potentiel reste un enjeu majeur pour les chercheurs, qui explorent le laser sous quasiment toutes ses formes et toutes les couleurs du spectre électromagnétique, qu'elles soient visibles ou invisibles à notre œil. Le laser est un rayon de lumière cohérent, monochromatique et unidirectionnel. Tout l'inverse de la lumière blanche qui, émise par le Soleil ou une ampoule, est en réalité composée des sept couleurs de l'arc-en-ciel, le spectre visible, et se diffuse dans toutes les directions. L'émission et la multiplication de photons, qui possèdent tous les mêmes propriétés, sont à l'origine de l'émission du rayonnement

La longueur d'onde
du laser, et donc
sa couleur, dépend
directement du
matériau qui en est
à l'origine,
et dont le choix
est fonction
des applications
souhaitées

laser ; ce processus se produit au cœur d'un matériau qui sert de milieu amplificateur pour la réplication des photons, et qui peut être un liquide, un gaz ou un solide, notamment un cristal. La longueur d'onde du laser, et donc sa couleur, dépend directement de ce matériau, dont le choix est fonction des applications souhaitées. Enfin, le laser est la seule source lumineuse avec laquelle il est possible de produire des impulsions puissantes et brèves. Longueur d'onde, nature du rayonnement et puissance lumineuse sont les trois composantes à l'origine des multiples déclinaisons du laser.

Certaines longueurs d'onde sont bien identifiées et servent des applications précises : à $1,5 \mu\text{m}$, le proche infrarouge est par exemple utilisé pour les télécommunications longue distance, car il n'est que peu absorbé par la silice des fibres optiques dans lesquelles le laser passe pour transmettre des informations. Les lasers à impulsions brèves et de forte puissance, comme les lasers femtoseconde, sont aujourd'hui largement exploités par l'industrie. Mais la technologie laser, à la base de l'optique moderne, n'a pas fini de révéler toute l'étendue de ses possibilités. Les recherches continuent à se développer autour du laser femtoseconde, et s'orientent vers une brièveté encore plus vertigineuse, celle de l'attoseconde, assortie à des puissances capables d'atteindre le pétawatt. Les lasers attoseconde permettront d'étudier les dynamiques de la matière à l'échelle de l'atome, de filmer les électrons en mouvement, ouvrant la voie à de nouvelles investigations, notamment dans le domaine de la santé (imagerie, étude de l'ADN ou des virus...)

DES ORDRES DE GRANDEUR QUI DÉFIENT L'IMAGINATION

Une femtoseconde (fs) représente un millionième de milliardième de seconde (10^{-15} s). Le rapport entre une femtoseconde et une seconde est comparable à la différence entre 7 mn et l'âge de l'univers, soit 13,8 milliards d'années. Ou encore : si la lumière fait presque huit fois le tour de la Terre en une seconde, elle parcourt seulement l'épaisseur d'un cheveu humain en 100 fs.

Une attoseconde représente un milliardième de milliardième de seconde (10^{-18} s). Une attoseconde est à une seconde ce qu'une seconde est à 31,71 milliards d'années. À l'échelle atomique, cette durée infime correspond cependant à des phénomènes de premier ordre. En quelques attosecondes par exemple, les électrons se

déplacent d'un atome à un autre ; ces mouvements ultrarapides sont à l'origine de l'émission de lumière dans les domaines du visible, de l'ultraviolet et même des rayons X. Ils sont également responsables du fonctionnement des biomolécules ou de l'influx nerveux qui transporte l'information le long des nerfs. Décrypter ces mouvements ultrarapides permettrait de progresser dans le traitement de certaines maladies, ou dans un tout autre domaine, de réaliser des composants électroniques plus efficaces et plus petits.

Un pétawatt est égal à 10^{15} watts, soit une puissance d'un million de milliards de watts.

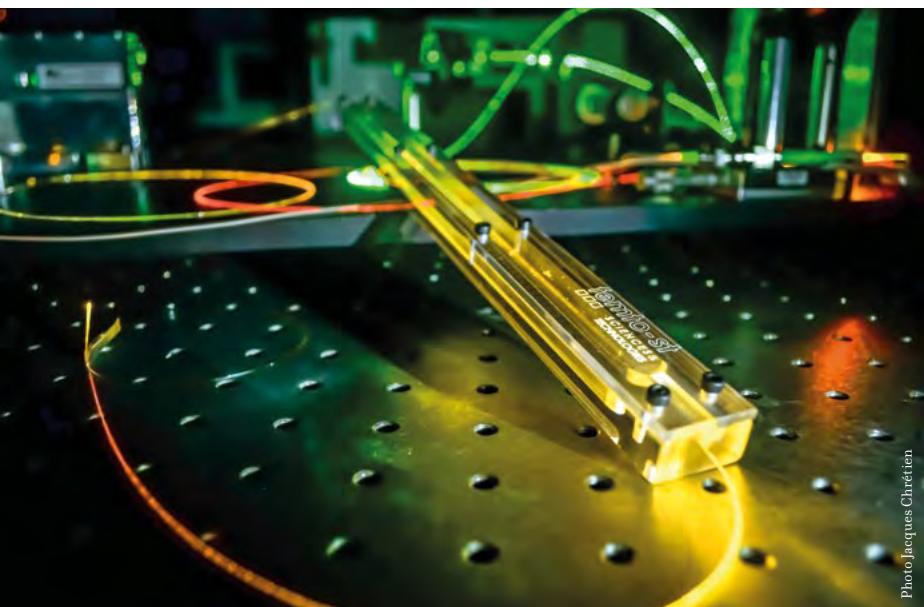
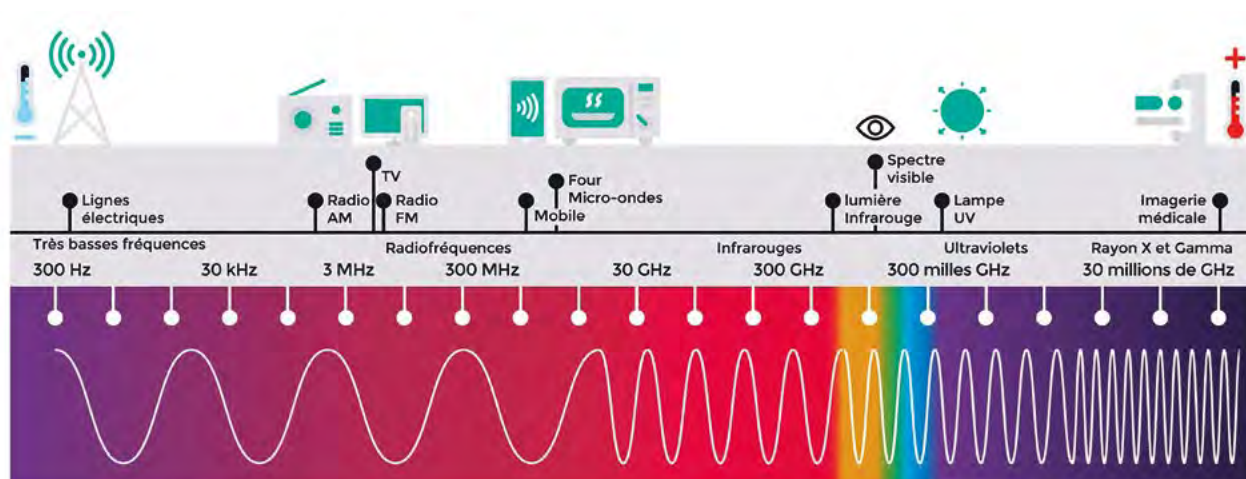


Photo Jacques Chretien



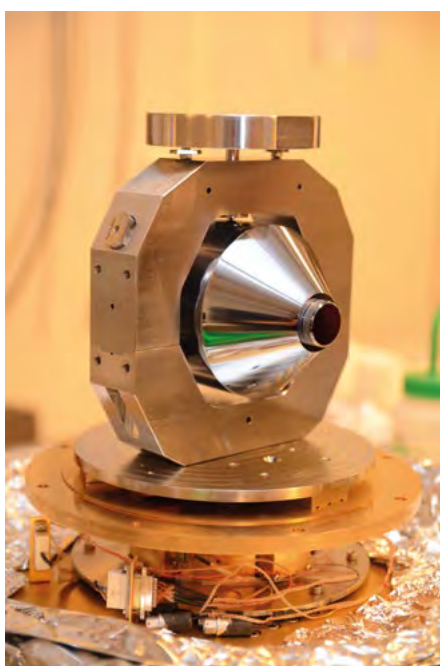
1542,14 NM : PROCHE INFRAROUGE ET TÉLÉCOMMUNICATIONS

Les oscillateurs optiques sont des lasers qui délivrent un champ électromagnétique oscillant à une fréquence extrêmement élevée, et dont les variations sont tellement infimes qu'elles pourraient être comparées à une variation de la distance entre la Terre et le Soleil d'à peine l'épaisseur d'un cheveu. Une telle stabilité est indispensable pour développer les horloges optiques qui délivrent la mesure du temps, et pour effectuer des mesures interférométriques de très haute précision, nécessaires par exemple aux communications à très haut débit, aux mesures de constantes physiques fondamentales ou encore à la détection des ondes gravitationnelles. La stabilisation en fréquence des lasers est un enjeu pour lequel sont engagés des chercheurs du département Temps-fréquence de l'Institut FEMTO-ST, suivant différentes techniques.

Jacques Millo, de l'équipe Ondes, Horloges, Métrologie et Systèmes (OHMS), cherche à stabiliser la fréquence de résonance d'une cavité (de type Fabry-Pérot) utilisée pour connaître la fréquence des photons émis par une source laser. Son objectif est de fabriquer des lasers ultrastables dans le proche infrarouge, à une longueur d'onde précise de 1542,14 nm. Cette longueur d'onde est celle qu'utilise le réseau REFIMEVE+ pour transférer des signaux optiques ultrastables par fibre optique à l'échelle nationale, en connectant les différents laboratoires impliqués dans ces problématiques de recherche.

« En rendant la longueur de la cavité ultrastable par la maîtrise et la réduction des bruits mettant en péril cette stabilité, on obtient une référence de fréquence remarquablement stable. La source laser asservie en fréquence sur cette cavité devient elle-même ultrastable ».

Les cavités sont ici fabriquées en silicium monocristallin, un matériau de faible coefficient de dilatation thermique, qui devient nul à environ 124 K, 17 K et au voisinage de 0 K. À ces températures « cryogéniques », le bruit thermique affectant la fréquence de la cavité est réduit et lui permet d'atteindre des performances ultimes. Les cavités sont par ailleurs développées selon des géométries particulières, pour réduire l'influence des vibrations qui peuvent les déformer et changer leur fréquence. « Une fois les bons ingrédients choisis, comme le bon matériau ou la température, ce qui importe le plus pour produire un bon



*Cavité ultrastable en silicium monocristallin dans son support, prise lors du montage avant sa mise sous ultravide et son refroidissement jusqu'à 17 K.
Photo Jacques Millo*

laser ultrastable, c'est la maîtrise des nombreux bruits et des variations des conditions expérimentales, ce qui requiert des ajustements très fins de l'expérience. »

Pour gagner
en performance
d'usinage, le laser
doit encore
monter en
puissance.
Le consortium
européen
kW-Flexiburst
travaille à la mise
au point d'une
source laser
de 1 kW

1030 NM : TRÈS PROCHE INFRAROUGE ET USINAGE PAR ABLATION

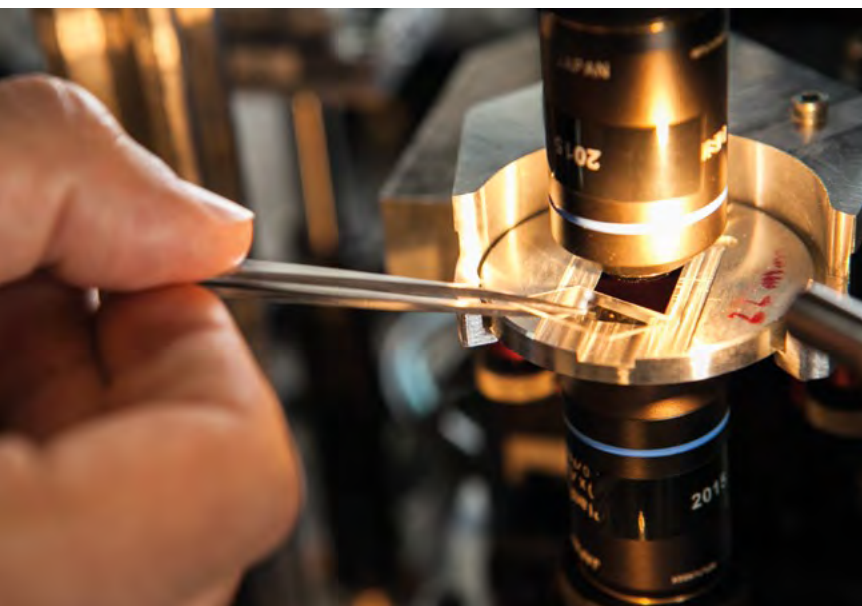
L'infrarouge est aussi le domaine de prédilection de François Courvoisier, pour une tout autre application. À 1030 nm, le chercheur développe de nouvelles techniques d'usinage. « Jusqu'aux années 2010, les lasers ultrabrefs étaient utilisés comme instruments de découpe dans le domaine médical, pour la chirurgie des yeux principalement. Les lasers ont ensuite gagné en puissance et ont ainsi pu être employés dans l'industrie, notamment pour la découpe du verre des écrans équipant les *smartphones* et les tablettes. » Mais les lasers ultrabrefs actuellement utilisés pour l'usinage industriel présentent une limite importante : chacune des impulsions qu'ils envoient n'enlève que peu de matière à la fois. Pour augmenter ses performances, le laser doit encore monter en puissance.

Dans le projet européen kW-Flexiburst qu'il pilote au département Optique de l'Institut FEMTO-ST, François Courvoisier travaille, avec six autres partenaires, au développement et aux applications d'une source d'une puissance de 1 kW, soit dix fois celle des lasers les plus puissants disponibles sur le marché. L'accroissement d'énergie concentrée dans les impulsions permettra de gagner de façon incroyable en rapidité d'exécution. Le temps de gravure des rouleaux d'impression pour la technologie *roll-to-roll* pourrait ainsi passer d'une dizaine d'heures à seulement trente minutes !

Pour parvenir à une telle puissance, plusieurs étages d'amplifications sont nécessaires. Cependant la puissance n'est pas le seul cheval de bataille du consortium européen kW-Flexiburst. Le deuxième objectif majeur du projet est de réussir à contrôler la distance qui sépare les impulsions entre elles, pour obtenir une source laser flexible, adaptable aux besoins en usinage. C'est à partir de la modulation du spectre d'une diode que le consortium rend, de façon inédite, cette

configuration possible. « Différents lasers sont produits à partir d'une longueur d'onde choisie, permettant la mise en œuvre de différentes formes d'impulsions. » Un laser ultrabref, d'une puissance de 1 kW et produisant des impulsions à la demande..., le projet kW-Flexiburst est ambitieux à plus d'un titre. Au sein du consortium regroupant laboratoires académiques et entreprises, les chercheurs travaillent aux côtés des sociétés Daetwyler Graphics Precision en Suisse et GFH GmbH en Allemagne, qui disposeront de plusieurs mois pour effectuer des tests à partir du prototype réalisé en laboratoire. Les résultats du projet devraient être connus fin 2023.

Ablation laser femtoseconde
Photo Ludovic Godard



515 NM : LASER VERT ET IMPRESSION 3D MÉTAL

L'infrarouge proche est aussi le domaine de référence pour la fusion laser de poudres métalliques : c'est avec un laser d'une longueur d'onde de 1060 nm que sont en général fondus les poudres servant à la réalisation de dépôts ou à l'élaboration d'objets par imprimante 3D métal. Le cuivre, pur ou sous forme d'alliage, est un matériau de prédilection utilisé dans de nombreuses applications industrielles. Bon conducteur électrique et

thermique, il est cependant également très réfléchissant, et le fondre exige beaucoup d'énergie lumineuse.

Sur la plateforme MIFHySTO, dont des équipements de fabrication additive métal sont installés à l'UTBM, les spécialistes ont décidé le placer le curseur à un autre endroit du spectre électromagnétique, pour « gagner en puissance de feu », et ont acquis l'année dernière une machine équipée d'un laser vert, d'une longueur d'onde de 515 nm exactement. « Le cuivre absorbe trois fois plus l'énergie du laser vert que celle du laser infrarouge. La fusion est mieux contrôlée, et comme elle est plus efficace, le matériau gagne en qualité et ses propriétés sont renforcées », explique Christophe Verdy, chercheur à l'ICB / LERMPS. Les très bons résultats obtenus avec le cuivre invitent à investiguer d'autres matériaux. Dans un projet financé par l'Agence nationale de la recherche (ANR) depuis fin 2021, les chercheurs travaillent à l'élaboration de matériaux composites en cuivre et diamant, une association intéressante car elle est à l'origine de matériaux de très forte conductivité thermique, et qui peuvent prendre la forme de géométries complexes grâce à l'impression 3D. Cette association pose cependant un problème d'ordre physique : en dehors des métaux, le diamant est certes le matériau

qui a la meilleure conductivité thermique (environ 2000 W/m¹.K⁻¹ contre 400 W/m¹.K⁻¹ pour le cuivre), mais celle-ci est dirigée par la vibration d'atomes, ou phonons, alors que la conductivité des matériaux métalliques, comme le cuivre, est assurée par le déplacement d'électrons. Cette discontinuité du mode de conductivité thermique est un verrou qui peut être levé en travaillant sur des interphases principalement à base de carbures, mais il faut aussi contrôler finement l'énergie thermique produite par le laser : « Chauffé au-delà de 1700 °C en atmosphère neutre, le diamant se transforme en graphite, ce qui devient néfaste en termes de conductivité thermique et d'élaboration 3D avec le cuivre. »

Avec le laser vert, la fusion du cuivre est mieux contrôlée, et comme elle est plus efficace, le matériau gagne en qualité, ses propriétés sont renforcées

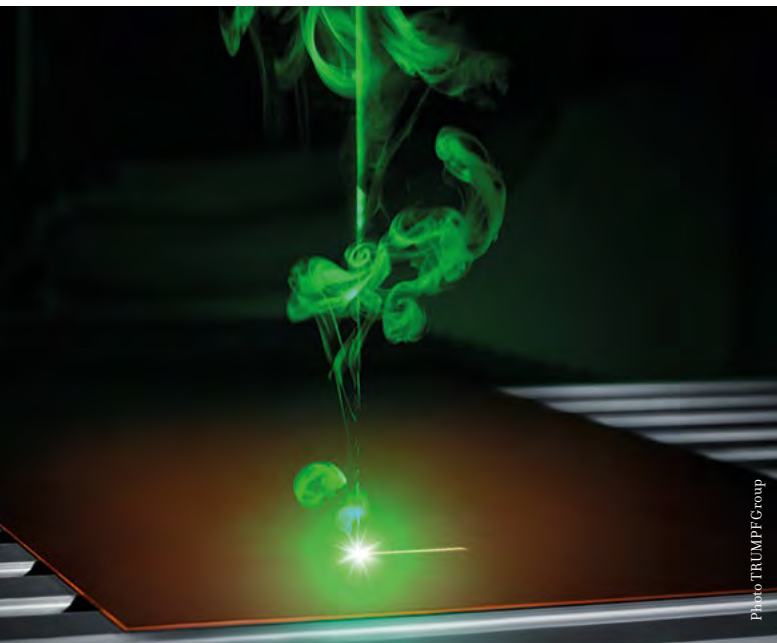


Photo TRUMPF Group

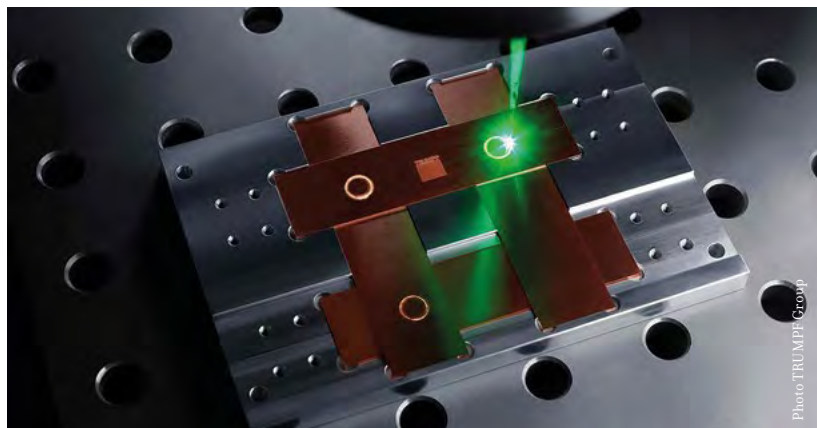


Photo TRUMPF Group

SUPERCONTINUUM DE COULEURS ET LASER BLANC

Un supercontinuum est une source lumineuse résultant de phénomènes optiques non linéaires, parfaitement maîtrisés au département Optique de l'Institut FEMTO-ST : l'onde monochromatique d'un laser, située dans l'infrarouge proche, est envoyée dans une fibre optique ; en se propageant dans ce milieu non linéaire, elle interagit avec les modes de vibrations moléculaires et électroniques, puis se décompose en rayons de toutes les longueurs d'onde du visible pour donner naissance à une source lumineuse blanche.

Ce « laser blanc » allie ainsi la cohérence du laser aux propriétés spectrales de la lumière blanche. Sa brillance extrême est comparable à cinq cents fois celle du Soleil.

Les travaux précurseurs de John Dudley, Hervé Maillotte et Thibaut Sylvestre placent l'équipe comtoise à l'avant-garde du domaine depuis le début des années 2000. Le supercontinuum est depuis devenu un phénomène optique clé pour de nombreuses applications. « L'intérêt de la lumière blanche est d'avoir accès à toutes les couleurs,

Le « laser blanc »
allie la cohérence
du laser aux
propriétés
spectrales de la
lumière blanche.
Sa brillance
extrême est
comparable à
cinq cents fois
celle du Soleil



et les recherches s'orientent aujourd'hui vers l'étude des structures biologiques avec la spectroscopie et l'imagerie, à des fins de diagnostic médical », explique John Dudley.

Le supercontinuum est également très utilisé pour la métrologie des fréquences ou les télécommunications. Différents types de sources sont développés pour les besoins de l'industrie, donnant lieu à des collaborations de type R&D : les chercheurs bisontins conçoivent des lasers supercontinuum dont ils confient ensuite le développement à diverses entreprises en France, telles que la société Leukos, à Limoges. En amont de la recherche, les efforts se concentrent sur l'extension du spectre vers l'ultraviolet et vers l'infrarouge moyen notamment, entre 2 à 20 μm . « C'est là que se situent de nombreuses empreintes moléculaires, comme celles du dioxyde et du monoxyde de carbone, ou encore du méthane », explique Thibaut Sylvestre.

Pour accéder à de nouvelles couleurs, il est indispensable d'optimiser les composants, tels que le verre de la fibre optique dans laquelle se propage l'onde lumineuse de départ. Un projet de recherche

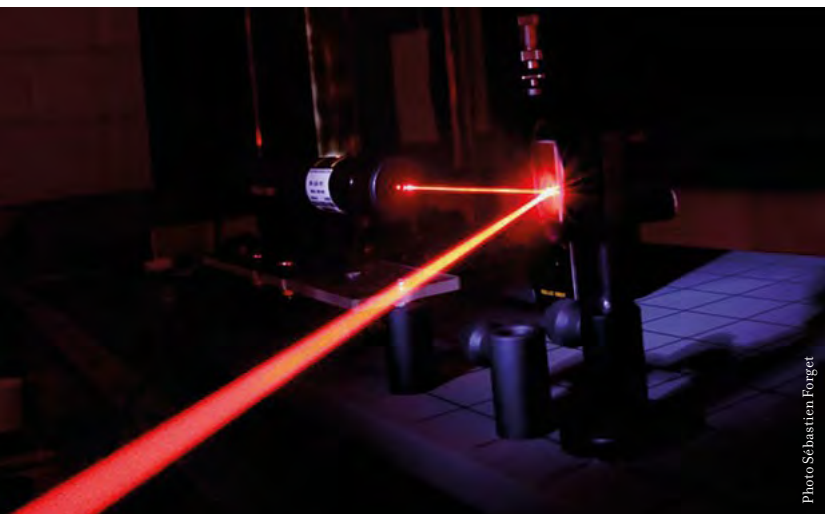


Photo Sébastien Forget

est actuellement mené avec des chimistes de l'université de Rennes et un fabricant de fibres optiques en Pologne sur ce sujet.

Dans un autre projet intitulé OPTIMAL, financé par l'ANR, il est question de rendre autonomes les manipulations que nécessite la réalisation d'un laser à fibre. « Dans une fibre optique, des polariseurs sont chargés de diriger et stabiliser l'onde lumineuse », explique John Dudley, qui précise : « Un nombre incroyable de constructions est possible, dès lors qu'on s'attaque à la mise au point d'un laser un peu complexe. Et 1 % seulement d'entre elles nous amène au point de fonctionnement voulu, le laser blanc ».

Pour créer des spectres étendus, l'intelligence artificielle relaie utilement la manipulation manuelle. Une expérience menée récemment au laboratoire a permis de tester en une semaine des

milliards de milliards de combinaisons... L'intelligence artificielle est également requise pour optimiser l'utilisation d'un laser. Dans le cas d'un laser de découpe, les algorithmes veillent à garder constante la qualité du faisceau, que des particules de poussière éjectées lors de l'usinage sont susceptibles de ralentir.

Pour accéder à de nouvelles couleurs, il est indispensable d'optimiser les composants, tels que le verre de la fibre optique dans laquelle se propage l'onde lumineuse

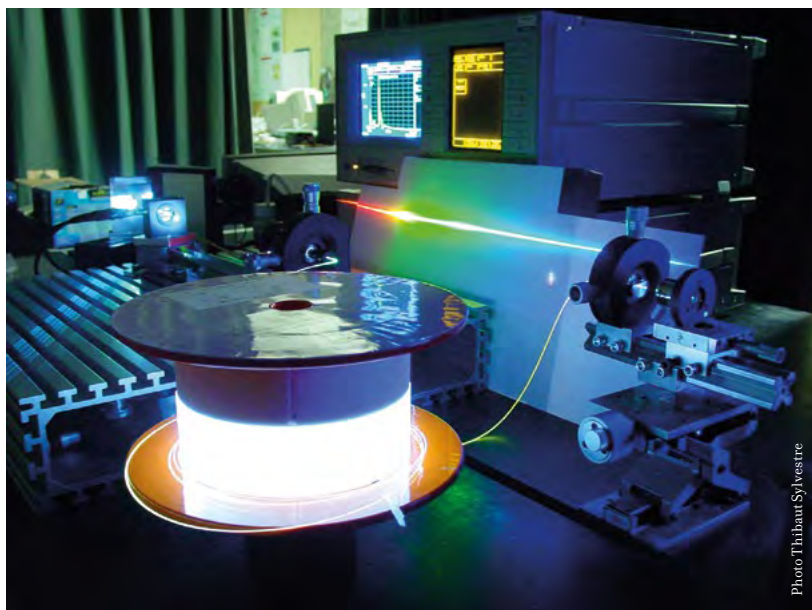


Photo Thibaut Sylvestre

DE 10 À 124 NM : L'EXTRÊME ULTRAVIOLET

Une autre technologie consiste à découper la lumière d'un laser à la façon d'un stroboscope. Cette technologie est l'un des fers de lance du Laboratoire Temps-fréquence (LTF) à l'université de Neuchâtel. Dans une recherche menée récemment au laboratoire, les chercheurs ont réussi à transformer un laser infrarouge en un stroboscope dont chacune des impulsions dure à peine 27 femtosecondes, et concentre une puissance comparable à celle d'une centrale nucléaire. « L'intensité du laser devient à ce point gigantesque qu'elle permet l'accélération

Avec cette
recherche,
l'extrême
ultraviolet
devient
disponible sur
une table de
laboratoire !

des électrons par le champ électrique du laser. Grâce à ces électrons accélérés, nous pouvons transformer la longueur d'onde du laser jusqu'à atteindre l'extrême ultraviolet », explique Jakub Drs, doctorant au Laboratoire Temps-fréquence sous la direction de Thomas Südmeyer, et qui signe en même temps que sa thèse une véritable prouesse technologique.

L'extrême ultraviolet, produit naturellement par la couronne solaire, n'est en principe accessible que dans des installations de grande échelle comme les accélérateurs de particules, où il est généré par rayonnement synchrotron. Avec cette recherche, il devient disponible sur une table de laboratoire !

À l'heure actuelle, l'extrême ultraviolet reste essentiellement un objet d'étude pour la physique fondamentale. D'un point de vue applicatif, ses performances le font pressentir pour l'imagerie médicale, un domaine où il pourrait être utilisé de façon moins invasive que les rayons X.

Adapté pour révéler la structure cristalline de certains matériaux, il pourrait à ce titre intervenir dans la conception des semi-conducteurs intégrés aux circuits électroniques de nombreux objets du quotidien.

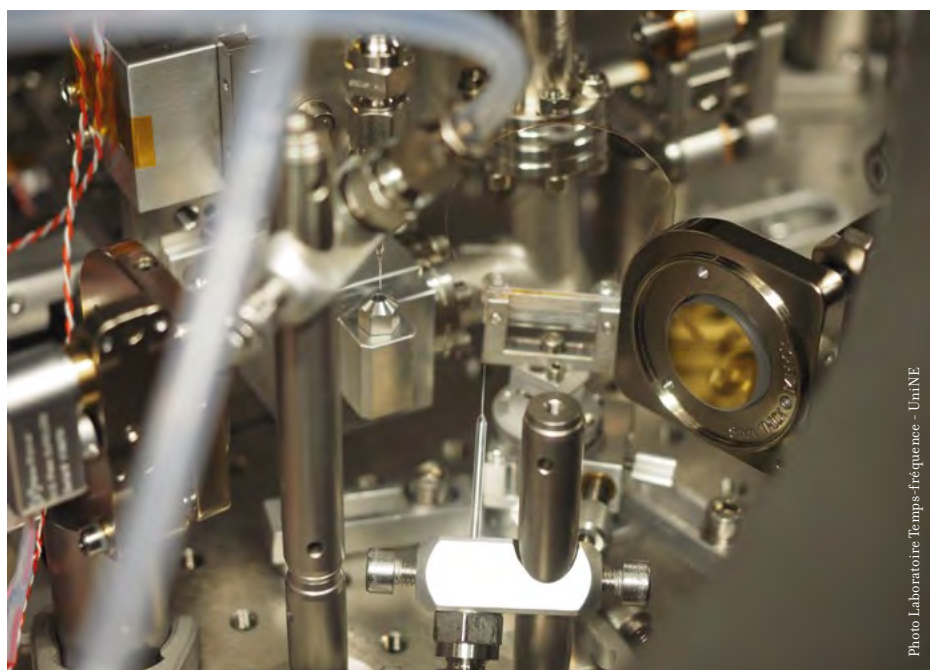


Photo Laboratoire Temps-fréquence - UniNE

Contacts :

Institut FEMTO-ST
UFC / ENSMM / UTBM / CNRS
Département Temps-fréquence
Jacques Millo
Tél. +33 (0)3 81 40 29 24
jacques.millo@femto-st.fr

Département Optique
François Courvoisier
Tél. +33 (0)3 68 08 24 23
francois.courvoisier@femto-st.fr

John Dudley / Thibaut Sylvestre
Tél. +33 (0)3 81 66 64 94 / 66 46
john.dudley@univ-fcomte.fr
thibaut.sylvestre@univ-fcomte.fr

Laboratoire interdisciplinaire Carnot
de Bourgogne – ICB / LERMPS
Christophe Verdy
Tél. +33 (0)3 84 58 31 08
christophe.verdy@utbm.fr

Laboratoire Temps-fréquence (LTF)
Université de Neuchâtel
Jakub Drs / Thomas Südmeyer
Tél. +41 (0)32 718 29 42 / 29 94
jakub.drs@unine.ch

L'équipe de Thomas Südmeyer travaille à sonder l'extrême ultraviolet depuis une dizaine d'années. Les performances accomplies jusqu'à aujourd'hui incitent à poursuivre les recherches dans ce domaine. « En réduisant encore la durée des impulsions, nous pouvons imaginer un jour visualiser en direct la transition énergétique d'un seul électron lorsqu'il change d'état électronique. Cette transition ne dure que quelques dizaines d'attosecondes, et commence à s'observer depuis quelques années grâce au développement de la science de l'attoseconde. C'est un pas expérimental incroyable en physique fondamentale. Nous espérons également réaliser ce type de mesures au Laboratoire Temps-fréquence dans les prochaines années », s'enthousiasme Jakub Drs. D'une couleur à l'autre du spectre électromagnétique, le laser n'a pas fini de faire parler de lui...

EN DIRECT

LE JOURNAL DE LA RECHERCHE ET DU TRANSFERT DE L'ARC JURASSIEN

Direction recherche et valorisation | Université de Franche-Comté
Tél. +33 (0)3 81 66 20 06 / 20 88 | Journal-EnDirect@univ-fcomte.fr
endirect.univ-fcomte.fr

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

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

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

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

SUPMICROTECH ENSMM^{1/2}

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

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

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

Établissement français du sang Bourgogne - Franche-Comté

1, boulevard A. Fleming | 25020 Besançon cedex
Directeur : Christophe Bésiers | Tél. +33 (0)3 81 61 56 15

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

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