

# EN DIRECT

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

LE DOSSIER //////////////////////////////////////

## **Le laser : une révolution tout azimut**

////////////////////////////////////

L'art de bien conserver les conserves  
AFULub, nouvelle solution lubrifiante pour l'industrie  
L'œuf où germent les entreprises innovantes  
Une bibliothèque de la Renaissance à portée de clic

NUMÉRO 257 - MARS-AVRIL 2015 //////////////////////////////////////



## Le pôle universitaire vésulien prend forme

À Vesoul, les locaux de l'IUT avaient besoin de rénovation, ceux de l'ESPÉ (ex-IUFM) aussi... En décidant de faire dotation commune pour créer le pôle universitaire vésulien sur le site de l'IUT à Vaivre, le Conseil général de la Haute-Saône, propriétaire des lieux, en plein accord avec l'université de Franche-Comté qui les gère, et avec la bénédiction des institutions locales, a procédé à un mariage de raison qui devrait faire des heureux. Et en premier lieu les étudiants qui bénéficient d'un site de formation modernisé, à proximité directe de structures de loisirs : lac, piscine et équipements sportifs. Car si Vesoul ne peut prétendre au statut de ville universitaire, cela ne l'empêche en rien d'améliorer son attractivité, objectif prioritaire du Conseil général qui a investi une grande partie des 2,7 M€ nécessaires à la réalisation des travaux.

Un projet que l'État, la Région Franche-Comté, l'Agglomération et la Ville de Vesoul ont soutenu de leurs financements respectifs. « Le bâtiment, vieillissant, a été entièrement rénové, et 500 m<sup>2</sup> de nouvelles salles de cours s'y sont ajoutés », explique Joël Pierre-Eugène, directeur de l'IUT Besançon - Vesoul. L'ensemble de 3 000 m<sup>2</sup> côtoie les salles de travaux pratiques et laboratoires techniques avoisinants qui, eux, n'ont pas eu besoin de réhabilitation.

La seconde étape du projet prévoit dès 2015 la réfection d'un petit bâtiment à l'entrée du site, qui sera flanqué d'une nouvelle construction pour accueillir une bibliothèque commune à l'ESPÉ et à l'IUT, ainsi que l'école de commerce de Vesoul.

Pour l'instant, le site réunit quelque trente-cinq étudiants de l'ESPÉ et trois cent trente de l'IUT. Les premiers sont formés aux métiers du professorat et de l'éducation, les seconds se répartissent dans trois départements : Génie industriel et maintenance (GIM) ; Gestion logistique et transport (GLT) qui jouent tous deux fortement la carte de l'apprentissage, et Hygiène, sécurité, environnement (HSE).



Photo Thomas Durupt - IUT Besançon - Vesoul

► **Contact** : Joël Pierre-Eugène - Direction - IUT Besançon - Vesoul - Tél. (0033/0) 3 81 66 68 20 - dir-iut25@univ-fcomte.fr

## UCPVax : mobiliser les défenses immunitaires contre le cancer

La télomérase est une enzyme responsable de l'immortalité des cellules cancéreuses. Elle bloque en effet le processus d'apoptose qui normalement déclenche l'autodestruction des cellules dans l'organisme. La télomérase est la cible du traitement thérapeutique mis au point par les équipes du professeur Adotevi et du professeur Borg, tous deux oncologues au CHRU de Besançon et chercheurs au laboratoire Interaction hôte-greffon-tumeur et ingénierie cellulaire et génique, laboratoire hébergé à l'Établissement français du

sang (EFS) et composé de chercheurs de l'EFS, de l'université de Franche-Comté et de l'INSERM. Le vaccin anticancer, baptisé UCPVax, a pour principe d'activer le système immunitaire *via* certains lymphocytes T pour qu'il puisse reconnaître et détruire les cellules porteuses de la télomérase, et donc la tumeur. Ce traitement est développé dans l'objectif d'apporter de nouvelles solutions thérapeutiques au cancer le plus meurtrier qui soit, celui du poumon, mais pourrait se voir appliqué à d'autres tumeurs, car la télomérase, enzyme universelle, est présente dans toutes les cellules cancéreuses.

Au terme de six années de recherches, UCPVax, qui a fait l'objet d'un dépôt de brevet en 2012, atteint aujourd'hui l'ultime échelon de son développement avec les premiers tests cliniques prévus cet été auprès de cinquante-quatre patients







L'Institut des technologies du vivant de la HES-SO Valais et le groupe Tribologie et chimie de l'interface de l'École polytechnique fédérale de Lausanne. « L'objectif est d'élaborer des méthodologies de conservation préventive à partir de la caractérisation des atteintes subies et de la modélisation des mécanismes de dégradation à long terme », explique Laura Brambilla, responsable du projet à la Haute Ecole Arc. Au-delà des aspects techniques, l'ethnologie, expliquant le sens et la valeur accordés à la protection de ces objets, apporte un supplément d'âme au projet.

La diversité des contenants et des contenus, représentant autant d'objets d'étude, donnera aussi tout son intérêt à la démarche. Un souhait en bonne

voie de réalisation puisque la liste des musées partenaires ne cesse de s'allonger, de l'Alimentarium de Vevey (Vaud) jusqu'à l'Antarctic Trust Heritage de Christchurch en Nouvelle Zélande, consacré à la découverte de l'Antarctique, en passant par les institutions consacrées à des emblèmes nationaux comme la sardine au Portugal ou la tomate en Italie. Un inventaire éclectique et riche de collections parfois historiques comme celle de l'usine HERO à côté de Zurich, alignant plus d'un siècle de conserves sur ses étagères.

► **Contact:** Laura Brambilla  
HE-Arc Conservation restauration  
Tél. (0041/0) 32 930 19 36 - laura.brambilla@he-arc.ch

//

## Colorants très naturels pour panneaux solaires propres

Dans un panneau photovoltaïque, c'est en général du silicium qui assure la conversion du rayonnement lumineux en électricité. Une technologie venue de l'électronique, efficace mais onéreuse, à laquelle les chimistes essaient de proposer des alternatives, comme les chercheurs de l'équipe Matériaux et surfaces structurés de l'Institut UTINAM. Leur solution ? Des cellules solaires à colorants, fabriqués à partir de diverses matières biologiques. Issu de produits secondaires agricoles comme le son d'avoine, la sciure ou encore la paille, le furfural est la substance actuellement tendance à l'institut.

Jérôme Husson et son équipe ont réussi à utiliser ce composé chimique pour le transformer en colorant, sans recours aux très toxiques sels de chrome VI souvent nécessaires à cette opération, et en générant très peu de déchets. La mise au point du procédé vaut à Jérôme Husson le prix des techniques innovantes pour l'environnement décerné lors du salon Pollutec de décembre dernier à Lyon. Cette récompense ajoute à la reconnaissance scientifique dont bénéficient les chimistes d'UTINAM au niveau international dans le domaine des cellules solaires à colorants.

► **Contact:** Jérôme Husson - Institut UTINAM - UFC/CNRS - Tél. (0033/0) 3 81 66 62 91 - jerome.husson@univ-fcomte.fr

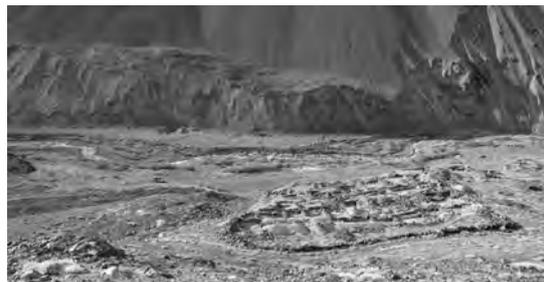
//

## L'argent de la route de la soie

Même fondu à plusieurs reprises et successivement frappé en monnaies diverses et variées, l'argent métal peut conserver sa constitution d'origine par-delà les siècles. Celui produit en Asie centrale à l'époque médiévale est le seul à présenter une forte quantité de bismuth, un élément chimique de la famille des métaux lourds. Une signature qui aide à suivre la piste du précieux métal, à l'aspect sans cesse changeant, à travers les continents.

« La route de la soie est un mythe et un nom inventé au XIX<sup>e</sup> siècle. Il est vrai que de nombreuses marchandises étaient transportées sur de longues distances, mais elles empruntaient bien des circuits », raconte Florian Téreygeol, archéologue minier, spécialiste des métaux précieux au Moyen Âge, et instigateur du projet de recherche LARS, « L'argent de la route de la soie », qui veut comprendre comment l'argent métal a circulé

au Moyen Âge de l'Asie centrale jusqu'à l'Europe. Le projet réunit les compétences de deux centres de l'IRAMAT, l'Institut de recherche sur les archéomatériaux : le Laboratoire métallurgies et cultures de l'UTBM, spécialisé dans l'extraction minière et auquel collabore Florian Téreygeol, chargé de recherche CNRS, et le Centre Ernest-Babelon qui, à Orléans, se concentre sur l'étude des monnaies. Le projet est porté par la Maison des sciences de l'homme et de l'environnement Claude Nicolas Ledoux, et reçoit le soutien de la Maison des sciences de l'homme du Val de Loire. En septembre dernier, l'équipe est menée par Florian Téreygeol jusqu'aux contreforts de l'Himalaya, à 4000 m d'altitude, au Tadjikistan. Un site majeur de production. « Des archéologues russes ont travaillé sur ces mines, et consigné leurs résultats dans des rapports d'activité que nous avons consultés au préalable à la bibliothèque Lénine à Moscou. L'existence des gisements était par ailleurs attestée par la géologie. »



Les vestiges du village des mineurs de Bazardara à 3 950 m dans les montagnes du Pamir

L'analyse des échantillons de minerai prélevés au cours de l'expédition, couplée à l'examen de pièces de monnaie médiévales, aidera à reconstituer les cycles de vie de l'argent.

Les archéologues ont découvert avec bonheur que le musée de Douchanbé au Tadjikistan dispose d'impressionnantes quantités de monnaies complètement absentes des collections européennes. Un sujet d'étude complémentaire et inespéré, pour lequel ils ont reçu sur place un accord enthousiaste.

➔ **Contact:** Florian Téreygeol - LMC – Laboratoire métallurgies et cultures - UTBM - Tél. (0033/0) 1 69 08 84 71 - [florian.tereygeol@cea.fr](mailto:florian.tereygeol@cea.fr)

## Excellente note technique dans les coulisses de la patinoire

Damien Gerber n'a pas froid aux yeux. Une patinoire pour terrain d'expérience, c'est l'aventure que lui a proposée la ville de La Chaux-de-Fonds, avec un projet de réhabilitation du système de récupération de chaleur, que le jeune étudiant a intégré sans hésiter à ses études de troisième année en génie électrique et informatique industrielle préparées à la Haute Ecole Arc.

Car l'envers du décor montre que la production de la glace provoque un important dégagement de chaleur, un processus comparable à grande échelle à ce qui se passe dans un réfrigérateur. Une chaleur récupérée, stockée et redistribuée par un système de pompes, de vannes et de conduits pour chauffer les vestiaires et les douches de la patinoire, et même l'eau de la piscine voisine en été. L'ensemble étant géré par un automate qui, affichant trente ans de pilotage au compteur, commençait à donner des signes de fatigue. « Le plus long a été de saisir le fonctionnement du système et de traduire le langage utilisé par l'automate, devenu obsolète et difficile à comprendre », raconte le jeune homme.

Fort de connaissances toutes neuves mêlant aspects de régulation et automatisme, Damien Gerber développe et programme un automate moderne qui donnera une nouvelle jeunesse à l'ensemble de l'installation. Le système voit son espérance de vie prolongée de dix ans, et présente désormais l'avantage de se montrer plus compréhensible pour les personnes chargées de sa maintenance. Outre les compétences techniques qu'il a acquises, le jeune étudiant se félicite des enseignements reçus en communication, qu'il a également mises à profit. « Dans un projet d'envergure réelle, il est très important d'être à l'aise dans les discussions avec les élus ou les personnes responsables d'une structure. » La formation en ingénierie de Damien Gerber est trinationale, elle l'a amené à fréquenter les bancs de l'IUT d'Hagueneau à l'université de Strasbourg et de la Hochschule Offenburg en Allemagne avant de rejoindre l'an dernier l'enceinte de la HE-Arc Ingénierie à Neuchâtel.

➔ **Contact:** Damien Gerber - Tél. (0041/0) 79 222 09 23 - [gerber.dam@gmail.com](mailto:gerber.dam@gmail.com)





# AFULub, nouvelle solution lubrifiante pour l'industrie

*Recyclage des huiles synonyme de casse-tête, nettoyage des outils de production fastidieux et coûteux, produits désagréablement visqueux... les problèmes liés à la lubrification des pièces métalliques, indispensable lors de toute opération mécanique, pourraient-ils bientôt n'être plus que de mauvais souvenirs ? Exit les huiles ! Des chercheurs en chimie et en mécanique de l'université de Franche-Comté lancent une solution hydroalcoolique efficace, propre, adaptée à toutes les activités industrielles.*

Elle s'appelle AFULub : une solution lubrifiante dont l'acronyme symbolise la collaboration entre le fabricant d'aciers inoxydables APERAM et les Instituts FEMTO-ST et UTINAM. Uniquement composée d'eau et d'alcool, la solution est respectueuse de l'environnement comme des mains de l'opérateur, de la propreté de l'outil et de la pièce réalisée. À l'application de la solution par trempe ou aspersion, les molécules se greffent sur la surface du matériau ou de l'objet traité, qui voient leurs propriétés tribologiques et anticorrosion se modifier. Les performances lubrifiantes sont étonnantes et pourraient bien révolutionner les habitudes.

« Les essais menés en laboratoire, depuis le frottement d'une bille sur un substrat métallique jusqu'à l'emboutissage d'un disque en acier inoxydable sur une presse semi-industrielle, sont tous concluants », racontent d'une seule voix les membres du trio à l'origine de l'aventure : Fabrice Lallemand de l'équipe Sonochimie et réactivité des surfaces d'UTINAM, spécialiste du traitement de surface et porteur du projet AFULub, Jean-Marie Melot, de la même équipe et qui, grâce à ses compétences en chimie organique, a développé les molécules, et enfin Xavier Roizard, expert en mécanique et en tribologie au département mécanique appliquée de FEMTO-ST.

Les propriétés de lubrification apportées par AFULub se vérifient aussi bien pour l'acier ou le cuivre que pour les matériaux dits nobles comme l'or. L'horlogerie et la micromécanique sont des domaines d'application privilégiés, tout autant que les opérations industrielles d'usinage, d'emboutissage et de découpe à grande échelle. À l'IUT Besançon - Vesoul, et plus précisément dans les locaux bisontins du département de chimie, les équipements sont adaptés pour assurer la production des molécules à des volumes industriels.



L'objectif est d'assurer sur place la fabrication de toutes les molécules impliquées dans le procédé et la formulation de la solution, sans avoir recours à la sous-traitance. Une facilité de mise en œuvre qui devrait bien aider la start-up chargée du développement d'AFULub à démarrer. En incubation depuis le 1<sup>er</sup> janvier de cette année, la future entreprise devrait voler de ses propres ailes dans le courant de l'année 2016 avec les trois enseignants-chercheurs aux commandes, assistés de l'ingénieure Aurélie Clerget, chargée principalement de l'aspect technique de la production. En marge de l'aspect transfert, deux thèses sont en cours pour optimiser les performances du produit et le process de production.

Du côté de l'entreprise, APERAM est un partenaire privilégié avec lequel sont menés des essais à l'échelle industrielle, et d'autres grands comptes ont déjà fait part de leur intérêt pour le produit. La bonne connaissance du tissu industriel, assorti à un savoir-faire technique et une expertise reconnus sont des atouts autant pour UTINAM que FEMTO-ST, et sont de bon augure pour le devenir du projet. Fabrice Lallemand souligne le bénéfice d'une telle expérience en termes d'enseignement aussi. « C'est un excellent faire-valoir pour nos étudiants, dont la formation est assurée par des liens permanents avec la recherche, en chimie comme en mécanique. »

➔ **Contact:** Fabrice Lallemand - Institut UTINAM - Université de Franche-Comté / CNRS - Tél. (0033/0) 3 81 66 68 55  
fabrice.lallemand@univ-fcomte.fr



# Ruptures familiales et devenir des TPE

*Nombreuses dans l'Arc jurassien, les TPE (Très petites entreprises) sont construites pour la plupart sur un fonctionnement familial qui fait leur force autant que leur fragilité. Un projet de recherche Interreg<sup>1</sup> se penche sur les conséquences que peut avoir une perte d'équilibre dans ces entreprises, et apporte ses recommandations aux acteurs concernés.*

Dans l'Arc jurassien franco-suisse, 90 % des entreprises sont des très petites entreprises. Des TPE comptant par définition moins de dix salariés, et ici pour les trois quarts, moins de trois. Issues du monde agricole et de l'artisanat, elles imbriquent pour la plupart vie professionnelle et vie personnelle. « Une force autant qu'une faiblesse », résume Maylis Sposito, doctorante au Laboratoire de sociologie et d'anthropologie (LaSA) de l'université de Franche-Comté, impliquée aux côtés de Laurent Amiotte-Suchet, de l'Institut de hautes études internationales et du développement (IHEID) de Genève dans ce projet Interreg, expliquant comment cette organisation familiale peut fragiliser l'entreprise dès lors qu'elle est affectée par une situation de rupture. Les chercheurs donnent des éléments de recommandation, un volet « action » qu'il n'est pas si courant de voir explicitement intégré à un projet de recherche.

## Avoir les atouts en main

Si les images de l'épouse s'occupant de « la paperasse » de son mari artisan, ou du père en retraite mais toujours occupé à la ferme reprise par le fils ont quelque chose de désuet, elles reflètent toujours la réalité. Pour être viables économiquement, les TPE ont pour la plupart besoin de recourir à une main d'œuvre gratuite et disponible, au risque de se voir un jour piégées par un système qu'elles n'ont pas toujours eu les moyens de jauger. En France, la loi veut apporter un cadre, en obligeant notamment les femmes à adopter un statut, depuis 1999 dans le monde agricole et depuis 2008 dans l'artisanat. Elles ne sont dans ce secteur que 30 % à s'y conformer. Et l'adoption d'un régime matrimonial ou d'un autre, tout comme le choix d'un statut juridique pour l'entreprise, n'ont rien non plus d'anodin. Loin de vouloir indiquer une ligne de conduite à suivre aux

responsables de TPE, les chercheurs veulent mettre entre leurs mains l'ensemble des cartes qui leur permettraient de faire des choix éclairés.

L'étude pointe les situations de rupture susceptibles de mettre en péril l'entreprise, le décès d'un membre de la famille, le divorce de conjoints ou la séparation de frères associés en GAEC, la maladie ou l'accident invalidant.

Les cinquante entretiens qualitatifs, menés de part et d'autre de la frontière auprès de personnes concernées, révèlent qu'en général l'entreprise s'adapte pour continuer à poursuivre son activité coûte que coûte : hormis quelques fermetures dans les cas les plus extrêmes (décès), on se bat pour sauver l'entreprise. La réorganisation est le maître mot, elle implique une surcharge de travail pour certains membres de la famille, parfois un emploi à l'extérieur pour l'épouse ou la poursuite de son activité par le chef d'entreprise malgré un accident invalidant, pour compléter des indemnités journalières insuffisantes.

Les conclusions de cette étude devraient hautement intéresser les acteurs de terrain impliqués dans l'accompagnement à la création ou à la reprise d'entreprise, des vecteurs privilégiés d'information auprès de ces publics. Ils seront à ce titre invités à participer à des journées de sensibilisation, et dans un premier temps à un colloque organisé les 16 et 17 juin prochains à Besançon, pour lequel chacun peut contacter Maylis Sposito pour toute précision et inscription. Le colloque présentera les résultats de l'étude et un film documentaire reprenant ses enseignements. Car si le parcours de vie familial et la trajectoire d'une entreprise sont uniques, toutes les situations portent des enjeux socio-économiques et territoriaux à ne surtout pas négliger.

<sup>1</sup> *Enjeux socio-économiques des situations de ruptures dans les TPE rurales de l'Arc jurassien franco-suisse*, projet Interreg IV-A mené sous la direction de Dominique Jacques-Jouvenot côté France et d'Yvan Droz côté Suisse.

► **Contact:** Maylis Sposito - Dominique Jacques-Jouvenot - LaSA - Laboratoire de sociologie et d'anthropologie  
Université de Franche-Comté - Tél. (0033/0) 6 51 90 12 25 / (0033/0) 3 81 57 28 27 - maylis.sposito@edu.univ-fcomte.fr



## Dole, capitale universitaire des duché et comté de Bourgogne

À l'aube de l'avènement de l'imprimerie, Philippe le Bon règne sur le duché et le comté de Bourgogne, la Bourgogne et la Franche-Comté actuelles. C'est à Dole qu'il choisit, en 1423, de fonder une université. Le droit canon, le droit civil, les arts et la médecine y sont tout de suite enseignés, rejoints en 1437 par la théologie. Certains y suivent un enseignement choisi pour obtenir le diplôme qui facilitera leur accession à une meilleure condition sociale. Nicolas de Granvelle en fait partie. Les monarchies de l'époque ont un grand besoin de juristes et l'enseignement dispensé à Dole est d'excellente réputation ; son diplôme de droit l'aidera à ouvrir les portes de l'administration impériale de Charles Quint, dont il devient un conseiller privilégié. Son fils, Antoine de Granvelle, appartient à la seconde génération d'étudiants qui, aisés, sans souci pour leur avenir, peuvent se permettre d'acquérir une culture plus vaste en suivant les enseignements de l'université. Mais c'est à l'université de Bologne, plus grande, plus prestigieuse, qu'il forgera sa culture d'humaniste. « Antoine de Granvelle reste néanmoins très attaché à l'université de Dole, où a été formé son père, et qu'il souhaite voir continuer à dispenser un enseignement de qualité », précise Rudy Chaullet.

L'université de Dole compte plus de deux cents étudiants. L'abbé Boisot, dépositaire des collections Granvelle et créateur de la bibliothèque municipale de Besançon, figure sur ses registres, de même que que Simon Renard, « ambassadeur de Charles Quint et espion » ou encore Jean-Jacques Chifflet, qui sera l'un des médecins de Philippe IV d'Espagne.

Au XVII<sup>e</sup> siècle, les rois d'Espagne, montrant pourtant peu d'ingérence dans les affaires de la Comté qu'ils administrent de loin, multiplient les ordonnances pour interdire aux étudiants de s'inscrire dans d'autres universités. Mais c'est une décision d'une tout autre nature qui met fin à la vie universitaire à Dole. À la signature du traité de Nimègue en 1678, la Franche-Comté devient française. Louis XIV décide en 1691 de transférer l'université, tout comme la capitale, de Dole à Besançon, pour punir la première de son attachement à l'Espagne.

L'université a vécu à Dole près de deux cent soixante-dix ans. L'histoire se poursuit depuis à Besançon...

À leurs qualités techniques et esthétiques s'ajoute l'importance des textes publiés. Ceux des auteurs grecs, Plutarque, Hérodote ou Homère, et latins, Cicéron, Virgile ou Pline l'Ancien, pour ne citer qu'eux, font voisiner les œuvres de l'Antiquité aux côtés de celles de la Renaissance italienne, d'ouvrages historiques et religieux, dans une bibliothèque témoin des goûts littéraires et culturels d'une époque remarquable, en plein cœur de l'Europe. Après ce premier volet, Bibliissima se consacrera ensuite aux imprimés et à leurs tout premiers exemplaires, les incunables, ainsi qu'aux monnaies, elles aussi objets d'importantes collections en Franche-Comté.



Denys l'Aréopagite (pseudo), *Œuvres*, Manuscrit, parchemin, Florence, 1457

Sources iconographiques : Bibliothèque d'étude et de conservation de Besançon

➔ **Contact :** Rudy Chaullet - ISTA – Institut des sciences et techniques de l'Antiquité - Université de Franche-Comté  
Tél. (0033/0) 3 81 66 51 42 - rudy.chaullet@univ-focmte.fr

# **Le laser : une révolution tout azimut**

*En un demi-siècle, le laser a complètement transformé notre paysage technologique. Lecture de codes-barres, développement d'horloges atomiques ultraprécises, télécommunications à longue distance, ablations chirurgicales, marquages en tout genre, étude de l'atmosphère, usinage de matériaux, spectacles son et lumière, télédétection... le laser est partout.*

*Il est aussi et plus que jamais présent dans les laboratoires de physique où les chercheurs s'ingénient à exploiter toujours plus son immense potentiel.*

## Cohérent avant tout

Là où une ampoule classique diffuse de la lumière blanche en tous sens, le laser est un rayon lumineux cohérent, monochromatique et unidirectionnel. Le laser naît d'une émission de photons stimulée pour générer de nouveaux photons qui ont tous exactement les mêmes propriétés que les photons originels : fréquence, direction de propagation, phase, direction de polarisation.

L'émission et la multiplication des photons se produisent au cœur d'un matériau, liquides, cristaux ou gaz de toutes sortes. Ce milieu amplificateur est intégré dans une cavité optique flanquée de deux miroirs, permettant à la lumière de rebondir en nombreux aller-retours dans le milieu amplificateur. L'un des miroirs n'est que partiellement réfléchissant, laissant s'échapper une partie de la lumière : libéré, le rayon laser (*Light amplification by stimulated emission of radiation*) peut faire la démonstration de toute l'étendue de ses capacités.

Avec un laser on peut mesurer la distance de la Terre à la Lune, on peut aussi couper proprement un cristal aussi dur que le diamant ou inciser délicatement la cornée de l'œil. C'est qu'il y a laser et laser : ultraviolets, verts, jaunes, rouges,

infrarouges, lasers continus ou impulsions, d'une puissance de quelques watts pour la microchirurgie à plusieurs centaines voire milliers de watts pour la découpe de l'acier, il est peu de dire que le laser a révolutionné la technologie.

John Dudley, chercheur en optique à l'Institut FEMTO-ST, président de la Société européenne de physique et instigateur de l'Année internationale de la lumière, met en lien le bond technologique qu'il représente et les besoins de nos sociétés. Marchant en cela sur les traces de Charles Townes, l'inventeur du laser décédé en janvier dernier, pour qui il nourrit une profonde admiration (cf. encart), John Dudley souligne la responsabilité qui doit être celle de la communauté scientifique. « Nous avons inventé la technologie laser, c'est à nous de la démocratiser. C'est un enjeu important quand on sait que seulement 20 % de la population mondiale bénéficie aujourd'hui de ses avancées. Il nous appartient aussi de nous assurer qu'elle est correctement utilisée. » Allusion à la dernière génération de lasers nés voilà trois ou quatre ans, très puissants, intéressant entre autres le domaine militaire, « pour lesquels il doit se créer des débats entre scientifiques et politiques ».

### Le père du laser s'est éteint

Inventeur du maser (amplification de micro-ondes), puis du laser (amplification d'ondes lumineuses) Charles Townes obtient le prix Nobel de physique en 1964 aux côtés de deux Russes. Le physicien américain est décédé le 27 janvier dernier à l'âge de quatre-vingt-dix-neuf ans.

« Une personnalité de génie et un homme remarquable », souligne John Dudley, qui rappelle l'éclectisme de ses travaux. En astrophysique, Charles Townes affirmait l'existence d'un trou noir au centre de la Voie lactée dès 1985, une théorie prouvée en 2002. Le physicien témoignait d'une grande influence en politique, apportant son expertise et sa réflexion scientifiques au gouvernement américain pour l'élaboration du programme Apollo de la NASA ou la gestion de la Guerre froide, et à la société en soutenant notamment l'interdiction des essais nucléaires dans l'espace.

À l'Institut de physique de Neuchâtel, Thomas Südmeyer est directeur du laboratoire Temps-fréquence. Lui aussi milite en faveur des implications sociétales du laser, et parle d'un progrès « utile à la compréhension de la science et du monde ». Lorsqu'il est continu, un laser reste cohérent dans l'espace sur des durées tellement longues qu'il est capable de mesurer la distance qui nous sépare de la Lune, et de s'apercevoir que

celle-ci s'éloigne de la Terre de 3 à 4 cm par an. Un laser peut aussi se décomposer en impulsions ultrabrèves et concentrer son énergie sur de très courtes durées, promettant de nouvelles révolutions médicales. « On peut comprendre et visualiser des mouvements extrêmement rapides dans l'infiniment petit, ce qui se passe au niveau de l'atome et comment se font les liaisons chimiques », explique-t-il. Car depuis les travaux de Zewail,

## De la lumière visible à l'ultraviolet extrême

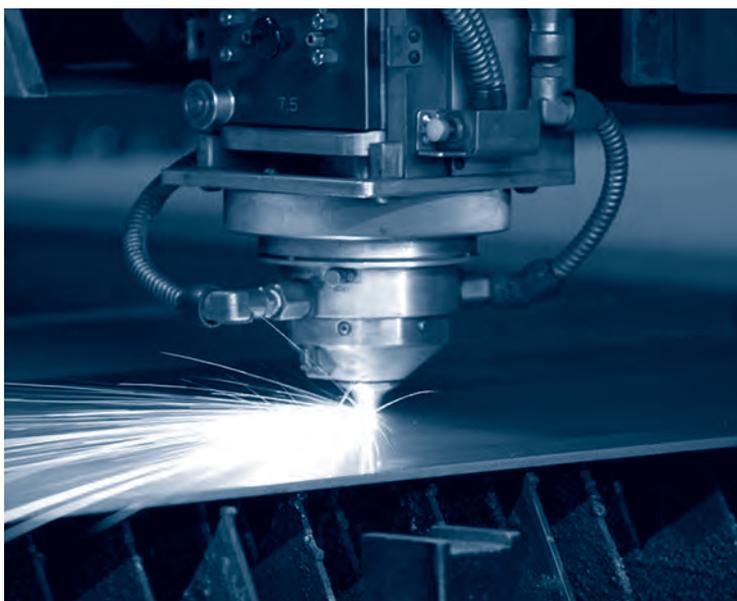
Les lasers peuvent émettre sur une foule de longueurs d'ondes différentes, représentant autant de couleurs sur le spectre de la lumière visible, et s'étirant jusqu'à certaines valeurs de l'infrarouge et de l'ultraviolet. La longueur d'onde du laser, et donc sa couleur, dépend directement du matériau choisi comme milieu amplificateur pour assurer l'émission stimulée des photons. C'est le changement de niveau d'énergie des électrons d'un atome, correspondant à leur passage d'un état fondamental à un état excité, processus générateur de photons, qui est ici étudié.

Fabriqué aux États-Unis en 1960 par Theodore Maiman, le premier laser était rouge, né d'un rubis précurseur d'une longue série de cristaux naturels testés puis choisis en fonction de leurs performances. Très vite, les gaz excités par un courant électrique sont également utilisés, comme l'hélium, le néon, le gaz carbonique... Les lasers liquides à colorants, réputés cancérigènes, sont abandonnés à la fin des années 1980 au profit d'un mélange titane / saphir. Les lasers à semi-conducteurs sont les plus fréquemment rencontrés dans les usages domestiques, et les lasers en verre dopé à l'erbium marquent l'avènement des transmissions haut débit sur fibre optique.

Les lasers dans le proche infrarouge, qui ne sont quasiment pas absorbés par les fibres en silice, sont largement utilisés dans les télécommunications longue distance. Mais les infrarouges et les ultraviolets sont de manière générale, et pour des raisons différentes, facilement absorbés par les matériaux. D'où la difficulté de trouver ceux qui pourront être à l'origine de l'émission laser dans ces gammes de longueurs d'onde.

Sonder l'ultraviolet extrême est actuellement hors de portée des technologies connues. C'est un objectif inscrit au programme de recherche de Thomas Südmeyer à Neuchâtel, qui a obtenu en 2012 un financement de l'ERC (*European Research Council*) de 1,5 million d'euros pour la réalisation d'un système permettant d'effectuer des mesures dans ce domaine spectral à partir de l'interaction entre des impulsions ultracourtes et des atomes de gaz rares. Ce processus pourrait se substituer à la génération d'ondes électromagnétiques dans les centaines de mètres du tunnel d'un accélérateur de particules, actuellement seules susceptibles de sonder l'extrême ultraviolet. Avec l'énorme avantage de pouvoir être développé en laboratoire sur une table optique, dont l'installation en milieu contrôlé devrait être finalisée à l'Institut de physique dans les prochaines semaines.

prix Nobel de chimie 1999, on sait « photographe » l'activité moléculaire avec une précision de l'ordre de quelques femtosecondes. Rappelons qu'une femtoseconde équivaut à... un millionième de milliardième de seconde ! Déclenchée par l'émission d'un flash laser, la réaction moléculaire est analysée par spectroscopie lors de l'envoi d'un second flash, chacun d'une brièveté difficilement imaginable. Pour aider notre pensée, sachez que le rapport de grandeur entre une seconde et une femtoseconde ( $10^{-15}$ ) serait analogue au rapport entre sept minutes et l'âge de l'univers, une comparaison simple mais à donner le tournis.



Usinage laser de l'acier

Photo Metaveid BY

## Le laser qui découpe plus vite qu'il ne chauffe

En télécommunications, les impulsions brèves augmentent considérablement les possibilités de transmission de l'information. Seuls des lasers de ce type sont susceptibles de garantir la transmission d'informations à haut débit sur de très longues distances par fibre optique, comme les milliers de kilomètres de réseaux sous-marins intercontinentaux.

Dans le domaine industriel, de nettes avancées sont observées dans l'efficacité des moteurs de voiture grâce à l'amélioration de la précision de perçage des buses d'injection. L'énergie que les lasers sont capables de concentrer pendant quelques dizaines de femtosecondes en un point extrêmement précis leur donne la capacité d'usiner un matériau sans qu'aucune chaleur n'ait le temps de se propager en son cœur. La découpe du verre est devenue possible sans bavure grâce au laser, il suffit pour s'en convaincre d'étudier la perfection des bords de l'écran d'un smartphone ou les encoches pratiquées à sa surface, tout aussi impeccables. La prochaine génération (un ou deux ans) de smartphones devrait

utiliser la technologie du laser femtoseconde. La *cold ablation* est à ses débuts.

La mise au point de lasers d'autant plus puissants qu'ils sont ultrarapides est une des activités centrales de l'équipe de Thomas Südmeyer. Le laboratoire Temps-fréquence de l'université de Neuchâtel collabore activement avec l'ETH Zurich qui détient le record mondial avec des lasers impulsions d'une puissance moyenne de 300 W, contre 1 W quinze ans plus tôt, et vise à atteindre la barrière des 1 000 W. « Les mesures effectuées par laser prendraient incroyablement moins de temps qu'aujourd'hui, par exemple pour réaliser des analyses biologiques sur le corps humain », raconte Thomas Südmeyer, dont les préoccupations sociétales s'expriment par l'ouverture de nouveaux champs d'application au sein du pôle de recherche national MUST (Science et technologie de processus moléculaires ultrarapides), porté par l'École polytechnique fédérale de Zurich et l'université de Berne, et doté de cinquante millions de francs suisses sur douze ans.

### Il fait des trous, des p'tits trous...

Une seule impulsion laser femtoseconde suffit à percer sur une profondeur de plusieurs centaines de microns et de façon très nette un trou de quelques centaines de nanomètres de diamètre dans du verre. Un très haut rapport de forme qui, après une valeur de 100 obtenue en 2010, est aujourd'hui passé à 1 000. Toutes proportions gardées, l'exploit reviendrait à percer avec une seule charge explosive un tunnel de 10 m de diamètre sur dix kilomètres de long. À l'échelle micrométrique, avec un diamètre de 0,2  $\mu\text{m}$  pour une longueur de 1 mm, il est plus approprié de parler de canal, voire de fil. À l'origine de l'événement, un flash laser dont l'énergie est concentrée dans une crête d'une puissance de l'ordre de 10 gigawatts, l'équivalent de la puissance de plusieurs centrales nucléaires réunies, mais qui ne dure ici que 100 femtosecondes.

« La lumière peut ne pas se propager en ligne droite dans le matériau, explique François Courvoisier, chercheur en optique à l'Institut FEMTO-ST. Elle crée des plasmas qui font exploser la matière sous les pressions et températures énormes qu'ils génèrent, puis repoussent la lumière comme le ferait du métal, l'empêchant de rentrer davantage dans le matériau. » L'équipe de François Courvoisier est la seule au monde à réussir à contrôler le dépôt d'énergie de la lumière dans un matériau à l'échelle micro- et nanométrique, un savoir-faire pour usiner finement la matière, protégé par plusieurs brevets. Loin de s'arrêter à ce chemin tout droit tracé, les membres de l'équipe s'ingénient, par des techniques holographiques, à sculpter la lumière pour mieux découper la matière.

Ces travaux trouvent leurs applications dans la découpe des matériaux fragiles, pour les écrans, les panneaux solaires ou les futurs composants microélectroniques empilés en 3D.





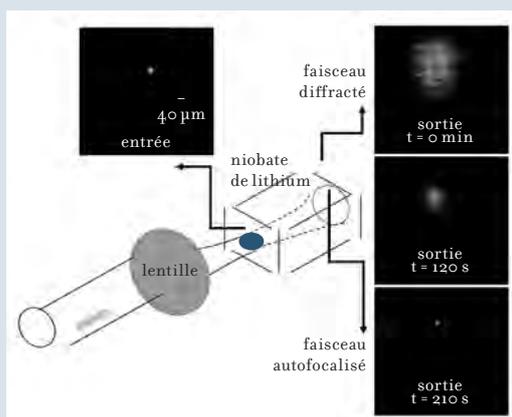


Cette recherche avait été encouragée en 2011 par un financement *Starting Grant* de l'ERC (*European Research Council*), complété cette année par un financement *Proof of Concept* pour valoriser le projet. « Pour que le système fonctionne bien, la température du résonateur doit être extrêmement contrôlée, et pour l'instant nous visons le 100° de degré Celsius », explique Yanne Chembo, qui relève ce défi avec

l'entreprise bisontine CRYSTAL DEVICE. Une amélioration possible de la stabilité du système consiste par ailleurs à remplacer la fibre optique étirée par un prisme en verre. Mais s'il sait jouer le même rôle sans aucune usure dans le temps, le prisme n'a qu'un « rendement » de 70 à 80% quand la fibre optique envoie 99% de ses photons au résonateur. Un autre casse-tête scientifique à résoudre...

## Le pyroliton, soliton spatial sensible à la chaleur

On considère généralement qu'un rayon laser, sous prétexte qu'il est unidirectionnel, est rectiligne. Il n'en est rien : le rayon s'élargit au fur et à mesure de sa progression dans l'espace d'autant plus que sa taille initiale est petite. À FEMTO-ST, Mathieu Chauvet et son équipe, avec des collègues de l'université de Rome, ont été les premiers il y a dix ans à démontrer qu'il était possible de confiner un rayon laser dans un cristal de niobate de lithium sans qu'il se déforme. Une haute tension électrique doit être appliquée sur le cristal pour obtenir ce soliton spatial. Mieux ! Les chercheurs ont découvert plus récemment qu'une augmentation de 20°C de la température du matériau produisait les mêmes effets que l'application du champ électrique, avec des conditions de mise en œuvre bien plus faciles !



Le pyroliton était né.

« Le niobate de lithium voit son indice de réfraction se modifier au passage de la lumière. Un changement d'état qu'il garde en mémoire à long terme, créant un guide optique au cœur du matériau, comme dans une fibre », explique Mathieu Chauvet. Avec une plus-value, celle de pouvoir mieux exploiter les propriétés du niobate de lithium, déjà largement adopté dans l'industrie.

L'intérêt est de pouvoir multiplier les canaux à l'intérieur du cristal, un objectif en bonne voie puisque les chercheurs ont réalisé une jonction « 1 vers 4 » signifiant une entrée de lumière et quatre sorties formant ainsi un premier circuit optique 3D. Un autre aspect de leurs travaux consiste à mettre au point des composants optofluidiques, pour lesquels des microcanaux remplis de liquide influent sur la propagation de la lumière dans le cristal en raison d'un indice de réfraction différent, allant jusqu'à rendre possible la séparation des composantes de polarisation de la lumière. Des possibilités intéressantes au plus haut point le domaine des télécommunications, notamment pour l'écriture de guides reconfigurables, ainsi que le biomédical ou la microfluidique.

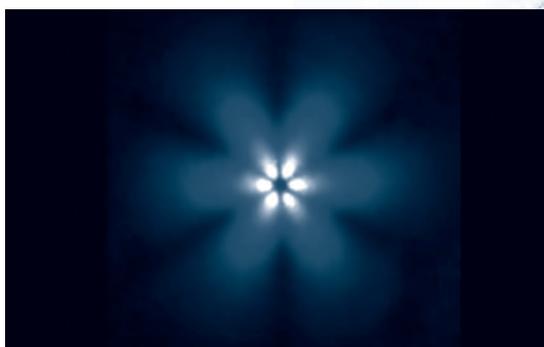
L'intérêt est de pouvoir multiplier les canaux à l'intérieur du cristal, un objectif en bonne voie puisque les chercheurs ont réalisé une jonction « 1 vers 4 » signifiant une entrée de

## L'avenir du laser est aux extrêmes

Élargir le spectre des ondes électromagnétiques sur lesquelles pourraient s'aligner les lasers est l'un des enjeux de la discipline. En particulier les émissions dans l'ultraviolet extrême (XUV), qui ouvrirait les portes à l'atmosphère : à  $10^{-18}$  s, cette voie du futur correspondrait à l'étude du mouvement des électrons dans les atomes.

L'avenir est aussi à la lumière extrême : des lasers de plus en plus puissants, dont l'énergie se mesurera un jour en pétawatts, soit  $10^{15}$  watts concentrés sur une surface de  $1 \text{ cm}^2$ . Cette avancée technologique n'en est aujourd'hui qu'à ses balbutiements, ses premières applications privilégieraient l'astrophysique et la physique des particules.

Citant le prix Nobel de physique Serge Haroche dans son allocution d'ouverture de « l'Année internationale de la lumière et des techniques utilisant la lumière » à l'UNESCO, John Dudley souligne que « chaque découverte de lumière invisible a changé nos vies, les rayons X dans le domaine médical, les micro-ondes pour les télécommunications ou encore l'infrarouge dans le développement de la mécanique quantique ». Émettant dans le visible ou l'invisible, le laser est une révolution technologique phénoménale, dont l'impact se mesure dans la vie quotidienne autant que dans les laboratoires de recherche.



Génération de supercontinuum *black light* dans une fibre optique à cristaux photoniques - Institut FEMTO-ST, 2012

## LIDAR et laser pour étude de l'atmosphère

Quelle est la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère et comment varie-t-elle ? C'est un laser continu servant de référence précise de longueur d'onde pour un LIDAR (*Light Detection And Ranging*) spatial qui apportera ici des éléments de réponse à cette question. Le laser émettant dans l'infrarouge à 2  $\mu$ m impose sa longueur d'onde au laser transmetteur du LIDAR qui mesure le profil de concentration du CO<sub>2</sub> entre un satellite et la Terre. Les impulsions du laser transmetteur sont ainsi émises de façon très stable à une longueur d'onde précise correspondant à une raie d'absorption du CO<sub>2</sub>, ce qui est nécessaire pour obtenir la précision requise sur la concentration mesurée.

Au laboratoire Temps-fréquence de l'université de Neuchâtel, Stéphane Schilt s'emploie à stabiliser la source laser à des positions différentes sur le profil d'une raie d'absorption, ce qui permettra au système LIDAR de sonder l'atmosphère de façon plus ou moins lointaine.

« La stabilisation du signal se fait au centre de la raie d'absorption, mais un décalage contrôlé de fréquence, d'un côté ou de l'autre de cette raie, est appliqué au laser en fonction de la profondeur des couches atmosphériques que le LIDAR doit sonder », explique Stéphane Schilt. Une part de la lumière émise par le laser sert à stabiliser la longueur d'onde voulue, une autre fournit la référence de longueur d'onde au LIDAR. La stabilisation du laser est rendue possible par une cellule de référence miniature, constituée d'une fibre optique à cristaux photoniques remplie de gaz et scellée à chaque extrémité. La structure périodique à l'intérieur de la fibre guide la lumière dans un petit trou central d'environ 15 micromètres de diamètre, dans lequel a été injecté du CO<sub>2</sub> à basse pression.

Ces travaux de mise au point de la cellule de référence sont réalisés en collaboration avec l'École polytechnique fédérale de Lausanne. Structure peu volumineuse et très légère, conçue de manière la plus compacte possible pour être embarquée, elle intéresse au premier chef l'Agence spatiale européenne qui finance le programme *Frequency reference and locking system* développé au laboratoire.

► **Contacts :**

Laboratoire d'optique - Institut FEMTO-ST - Université de Franche-Comté / UTBM / ENSMM / CNRS

Hervé Maillotte - (0033/0) 3 81 66 64 25 - herve.maillotte@univ-fcomte.fr

John Dudley - (0033/0) 3 81 66 64 94 - john.dudley@univ-fcomte.fr

Yanne Koumou-Chembo - (0033/0) 3 81 66 64 01 - yanne.chembo@femto-st.fr

François Courvoisier - (0033/0) 3 63 08 24 33 - francois.courvoisier@femto-st.fr

Fabrice Devaux - (0033/0) 3 81 40 28 09 - fabrice.devaux@univ-fcomte.fr

Mathieu Chauvet - (0033/0) 3 81 66 64 09 - mathieu.chauvet@univ-fcomte.fr

Institut de physique - Laboratoire Temps-fréquence - Université de Neuchâtel

Thomas Südmeyer - (0041/0) 32 718 29 94 - thomas.sudmeyer@unine.ch

Stéphane Schilt - (0041/0) 32 718 29 17 - stephane.schilt@unine.ch

////////////////////////////////////

# EN DIRECT

Direction de la valorisation - Université de Franche-Comté  
Tél. (0033/0) 3 81 66 20 95 / 20 88 - [endirect@univ-fcomte.fr](mailto:endirect@univ-fcomte.fr)  
<http://endirect.univ-fcomte.fr>

Directeur de la publication : Jacques Bahi. Rédaction : Catherine Tondu. Composition : Marie-Pierre Terreaux. Conception graphique : Gwladys Darlot. Impression : Simon graphic, Ornans / Imprim'vert.

*en direct* est édité par :

**Université de Franche-Comté**  
1, rue Claude Goudimel - 25030 Besançon cedex  
Président : Jacques Bahi - Tél. (0033/0) 3 81 66 50 03

en association avec :

**Université de technologie de Belfort-Montbéliard**  
90010 Belfort cedex  
Directeur : Pascal Brochet - Tél. (0033/0) 3 84 58 30 00

**École nationale supérieure de mécanique et des microtechniques**  
Chemin de l'Épitaphe - 25030 Besançon cedex  
Directeur : Bernard Cretin - Tél. (0033/0) 3 81 40 27 00

**Université de Neuchâtel**  
Avenue du 1<sup>er</sup> mars 26 - CH - 2000 Neuchâtel  
Rectrice : Martine Rahier - Tél. (0041/0) 32 718 10 00

**Haute Ecole Arc**  
Espace de l'Europe 11 - CH - 2000 Neuchâtel  
Directrice : Brigitte Bachelard - Tél. (0041/0) 32 930 11 11

**Établissement français du sang Bourgogne - Franche-Comté**  
1, boulevard A. Fleming - 25020 Besançon cedex  
Directeur : Pascal Morel - Tél. (0033/0) 3 81 61 56 15

Avec le soutien du Conseil régional de Franche-Comté, du Conseil général du Territoire de Belfort et de l'Association [arcjurassien.ch](http://arcjurassien.ch). 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 <http://endirect.univ-fcomte.fr>

////////////////////////////////////