tN DIRECT

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

Le dossier

Quid de la physique quantique ?

Automobile : capter l'énergie et la redistribuer à des capteurs miniatures
Football, des transferts trop chers ?
Quel temps fait-il en forêt ?
Le Petit Comtois **et ses confrères épluchés**

NUMÉRO 273 - NOVEMBRE - DÉCEMBRE 2017

LE SOMMAIRE

LES ACTUALITÉS 3
UBFC et *Tomsk Polytechnic University* : au nom de l'amitié franco-russe
Automobile : capter l'énergie et la redistribuer à des capteurs miniatures
Glace sèche pour abrasion douce
Football, des transferts trop chers ?
Une journée technique pour la robotique
« Communautés de pratique et management de la formation »
« L' anthropotechnologie, cultures et conception »
« Penser l'Amérique »

L'OBJET 9
Quel temps fait-il en forêt ?

FORMATION 10
UBFC se dote de masters internationaux

TERRE D'INVENTEURS 12
Le Petit Comtois et ses confrères épluchés

LE DOSSIER 14
Quid de la physique quantique ?

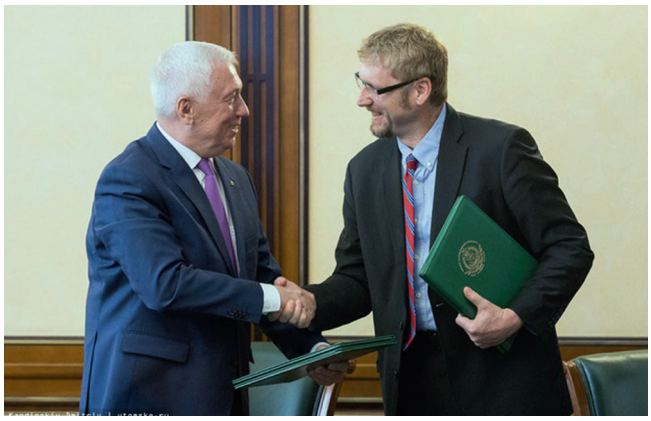
UBFC et *Tomsk Polytechnic University* : au nom de l'amitié franco-russe

Tomsk, Sibérie, mai 2017. Un accueil chaleureux et médiatisé attend Nicolas Chaillet, président d'UBFC, et sa délégation universitaire, pour la signature d'un accord de partenariat avec Petr Chubik, recteur de *Tomsk Polytechnic University* (TPU).

Cet accord, conclu avec un établissement majeur du paysage universitaire russe, est un symbole fort de la volonté d'UBFC d'inscrire son action dans une dimension internationale. « En recherche comme en formation, des coopérations se tissent de longue date entre les établissements membres d'UBFC et leurs homologues de tous pays, rappelle Nicolas Chaillet. Un des rôles d'UBFC est de les renforcer, d'apporter une valeur ajoutée qui leur donnera davantage d'ampleur à l'échelle du site. »

La signature de convention avec l'université russe illustre parfaitement ce propos. Si la collaboration scientifique existe depuis quinze ans entre le laboratoire de recherche en physique de TPU et l'ICB (Institut Carnot de Bourgogne), le partenariat conclu à l'échelle des deux établissements verra les échanges s'intensifier et s'étendre à d'autres domaines scientifiques. Avec à la clé pour UBFC, une présence accrue sur la scène académique internationale qui ne manquera pas de rejaillir favorablement sur le territoire régional.

Fondée en 1896 par le tsar Nicolas II, forte aujourd'hui de plus de 22 000 étudiants, TPU décline ses activités autour de nombreux domaines des sciences pour l'ingénieur, qu'elle complète d'apports transverses en sciences humaines et sociales. TPU est l'une des universités les plus cotées de Russie. Elle est aussi la seule université à Tomsk à délivrer le diplôme de doctorat, une prérogative inscrite à ses statuts depuis cette rentrée. « C'est un avantage pour les thèses préparées en cotutelle, qui ne nécessiteront l'organisation que d'une soutenance, avec un jury commun, explique Yevgenya Pashayan-Leroy, chargée de la promotion de l'internationalisation des formations à UBFC, et qui faisait partie de la délégation dépêchée à Tomsk. « Ce voyage était aussi l'occasion de présenter les nouveaux masters internationaux d'UBFC (voir par ailleurs en page 10), que déjà trois étudiants sibériens ont rejoints lors de cette rentrée ! »



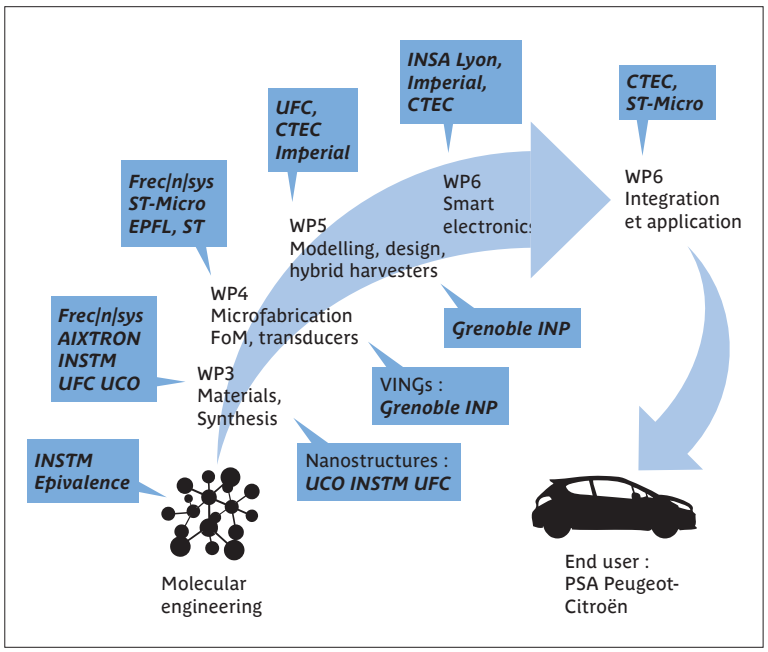
Nicolas Chaillet président d'UBFC, et Petr Chubik, recteur de *Tomsk Polytechnic University* (TPU)

➡ Contact : Nicolas Chaillet - UBFC – Université Bourgogne - Franche-Comté - Tél. +33 (0)3 63 08 26 50 - secretariat@ubfc.fr

Automobile : capter l'énergie et la redistribuer à des capteurs miniatures

Allumage automatique des feux, aide au stationnement, système de contrôle de pression des pneus, mesure de la vitesse, du niveau d'huile, détection de pluie… pas moins d'une centaine de capteurs équipent aujourd'hui nos voitures, représentant quelque 50 kg de câbles. Pour limiter ce poids, qui a sa part de responsabilité dans l'émission de CO_2 et la consommation d'électricité d'un véhicule, ainsi que pour diminuer les frais de maintenance, la recherche se tourne vers la mise au point de capteurs miniatures, capables de s'alimenter par eux-mêmes en énergie. Un vrai

cas d'école soumis aux treize doctorants du projet ENHANCE[1], qui chacun dans sa spécialité devra apporter un morceau de solution au problème. Car ENHANCE est avant tout un projet de formation par la recherche, susceptible de préparer le plus efficacement possible les doctorants à un futur emploi. Placés en conditions réelles de travail grâce au partenariat avec les industriels engagés dans le projet, les jeunes chercheurs ont à tenir compte des feuilles de route proposées par les fabricants et équipementiers automobiles, et des contraintes d'un marché exigeant et fortement concurrentiel. Ils sont amenés à travailler en équipe pour mettre au point les dispositifs, depuis le choix des matériaux jusqu'à la réalisation de cartes électroniques. Leurs compétences en chimie, matériaux, physique, automatique, mécanique, électronique, énergie… vont se combiner pour relever le principal défi technologique du projet : assurer l'alimentation des capteurs grâce à la récupération des énergies vibrationnelle et thermique dispensées par le véhicule. « Il est particulièrement difficile de créer suffisamment d'énergie à partir d'un récupérateur pour assurer le fonctionnement de capteurs autonomes miniatures », souligne Ausrine Bartasyte, chercheure en chimie des matériaux à l'Institut FEMTO-ST et enseignante à l'université de Franche-Comté. Ausrine Bartasyte est coordinatrice du projet ENHANCE, financé par le programme européen H2020, et porté par l'université de Franche-Comté. Pour corser le challenge et répondre à un objectif de développement durable, les dispositifs piézo-électriques mis au point pour la récupération et la redistribution de l'énergie devront être réalisés dans des matériaux exempts de plomb, ce qui sera une première dans le domaine des capteurs autonomes miniatures.



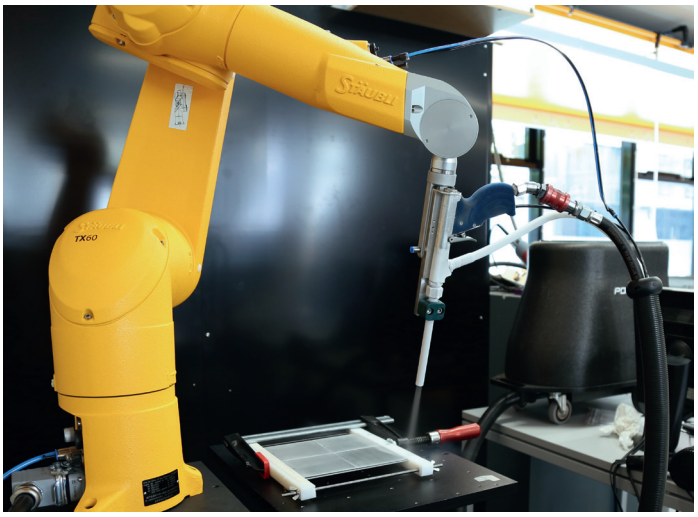
[1] ENHANCE est un projet du programme européen H2020. Il réunit l'université de Franche-Comté, l'INSA Lyon, l'Imperial College London, l'université de Catane, Grenoble INP, l'université de Cologne, Aixtron (DE), Cedrat Technologies (FR) et ST Microelectronics (IT) ; il a pour partenaires le groupe PSA, Frec|n|sys, Epivalence, Knowledge Transfer Network, l'EPFL et ST Microelectronics (FR).

➡ Contact : Ausrine Bartasyte - Département Temps-Fréquence - Institut FEMTO-ST - UFC / ENSMM / UTBM / CNRS
Tél. +33 (0)3 81 40 28 24 - ausrine.bartasyte@femto-st.fr

Glace sèche pour abrasion douce

Le nettoyage cryogénique, combinant les avantages d'une abrasion douce et d'une faible toxicité, est une technique largement employée dans l'industrie. À la Haute Ecole Arc, les spécialistes du domaine Conservation-Restauration ont eu l'idée de s'en emparer pour l'adapter aux besoins spécifiques des objets métalliques anciens du patrimoine. « Dans le cas de certains traitements, il convient de les débarrasser des cires, des vernis ou de toute autre couche de protection défectueuse qui les recouvrent, sans que le métal soit atteint : les traces d'usage ou de fabrication de l'objet ne doivent pas disparaître », raconte Julie Schröter, spécialiste de ces questions à la Haute Ecole Arc.

Au fil des expériences, il semble que la cryogénie réponde parfaitement à ces exigences.
La glace sèche projetée se sublime au contact de la surface métallique à nettoyer, atteignant alors une température de - 78°C.
Le choc thermique combiné à l'action mécanique de la projection assure l'abrasion de la surface, en douceur et sans résidus liés aux particules de glace sèche. Des essais de faisabilité ont été réalisés directement sur des objets existants et de grande dimension, notamment sur des canons et autres témoins d'un passé militaire, entretenus à grand renfort d'huiles ou de graisses. En laboratoire, les experts ont ensuite travaillé sur des reproductions de surfaces métalliques, volontairement rayées ou gravées pour mimer les traces d'usage de l'objet ou des marques de fabrication. « À chaque traitement, il faut adapter les paramètres du nettoyage cryogénique, régler la taille de la buse de projection et sa distance par rapport à l'objet, la pression et le débit auxquels doit être pulvérisée la glace sèche, la taille des particules employées… », explique Julie Schröter. Pour garantir la constance des réglages déterminés et une reproductibilité des essais de nettoyage, un système automatisé a été adapté avec la collaboration des chercheurs en ingénierie de la Haute Ecole Arc pour piloter le dispositif. L'évaluation du degré d'abrasion de la surface métallique à conserver est alors réalisée au département ingénierie par microscopie optique en lumière blanche, MEB-EDX et microscope confocal 3D.
La perte de rugosité moyenne constatée sur les alliages étudiés - un acier et un laiton - est très faible, inférieure au dixième de micron, ce qui permet de préserver les traces d'usure et de fabrication.
Des résultats très probants qui confirment l'intérêt de cette technique auprès des spécialistes.



Le recours à un système automatisé garantit la permanence des paramètres de réglage du nettoyage.

➡ Contact : Julie Schröter - Haute Ecole Arc Conservation-Restauration - Tél. +41 (0)32 930 19 05 - julie.schroter@he-arc.ch

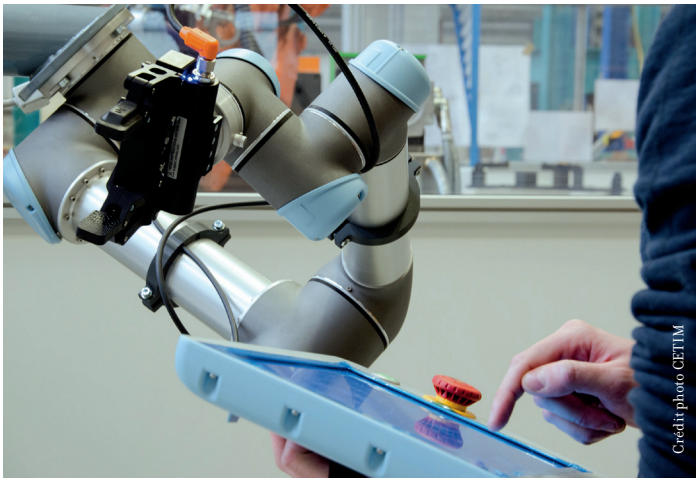
Football, des transferts trop chers ?

Ce n'est pas à une réflexion éthique mais à un calcul scientifique que se livre l'Observatoire du football du Centre international d'études du sport (CIES) de Neuchâtel. Une méthode pionnière, mettant en jeu un algorithme élaboré sur mesure pour estimer la valeur de transfert des joueurs de foot, la comparer avec la réalité du *mercato*, et échafauder des prévisions. La recherche concerne les transferts opérés par les clubs du *big-5*, ceux participant aux grands championnats européens.
Un recul de sept années montre la pertinence du modèle neuchâtelois : les projections sont corrélées aux tendances du marché, révélant de façon surprenante que la valeur d'un transfert repose sur des éléments rationnels. « Le niveau du club acquéreur et les besoins de l'équipe influencent grandement la fixation du prix d'un transfert », rapporte Raffaele Poli, enseignant en sciences humaines à l'université de Neuchâtel et responsable de l'Observatoire du football du CIES. Ensuite interviennent les caractéristiques du joueur : son âge, le poste auquel il évolue, ses performances, les buts marqués bien sûr, mais aussi les *dribbles*, les résultats, les minutes passées sur le terrain… Et dans un autre registre, la durée de son contrat actuel, qu'il faudra casser, une rupture à monnayer…
Mais la logique de la rationalité s'arrête là où

commence celle de l'inflation, alimentée en grande partie par la mondialisation d'un sport qui fait de plus en plus d'émules sur la planète, par les recettes croissantes des clubs, notamment grâce aux droits de retransmission télévisée, toujours plus élevés… « Les premières années, la distorsion était d'environ 15 % entre notre modèle et la réalité du marché. Mais en 2016 et 2017, les transferts se sont négociés en moyenne 30 % plus chers que nos prévisions ! »
L'inflation est continue depuis cinq ans, et s'accélère. Les clubs du *big-5* ont engagé deux milliards d'euros d'indemnités de transfert en 2012, 2,9 Mrd en 2014, 4,2 Mrd en 2016, atteignant le record de 5,9 Mrd en 2017, soit une augmentation de 41 % par rapport à l'année précédente. Les 222 millions d'euros du transfert de Neymar au PSG n'y sont pas étrangers, de même que les millions engagés pour les transferts de Mbappé (PSG) et Dembélé (FC Barcelone), jugés les deux opérations les plus surpayées de l'année par l'algorithme neuchâtelois. Avec un résultat négatif de 343 millions d'euros, le PSG est le champion toutes catégories du déficit occasionné par les transferts de joueurs au sein du *big-5* au *mercato* d'été 2017. Saura-t-il récupérer sa mise ? « Le retour sur investissement… c'est un pari ! Le PSG est en tout cas aujourd'hui le seul club français à pouvoir se mesurer aux grands clubs anglais et espagnols, et espérer remporter une Ligue des champions européenne. »

➡ Contact : Raffaele Poli - CIES – Centre international d'études du sport - Tél. +41 (0)79 249 37 10
raffaele.poli@unine.ch - www.football-observatory.com

Une journée technique pour la robotique


Crédit photo CETIM

Robotique rime avec problématiques et solutions techniques : c'est pour présenter tous les aspects attachés à cette technologie de plus en plus incontournable que la journée « robotique, cobotique et robotique collaborative » sera organisée le 14 novembre prochain à l'ENSMM. Au programme : des conférences animées par de nombreux acteurs de la filière, scientifiques, fabricants de machines, créateurs de normes, utilisateurs… « L'idée est de donner la parole aux industriels qui ont l'expérience de terrain et sont les mieux à même d'identifier leurs besoins, et aux chercheurs, ingénieurs, techniciens, fabricants qui travaillent à apporter des solutions techniques toujours plus adaptées », explique Christophe Perrard, responsable du groupe Automatique et productique à l'université de Franche-Comté, et instigateur de la manifestation. Le grand hall de l'ENSMM se prêtera en outre parfaitement à une remarquable exposition d'équipements et à des démonstrations témoignant du savoir-faire des fabricants et de l'étendue des solutions qu'ils proposent, du géant allemand KUKA à la *start-up* bisontine PERCIPIO ROBOTICS. Le CETIM, le CFA sup Franche-Comté, InnovARC et PerfoEST sont les partenaires de cet évènement soutenu par ailleurs par le Pôle Véhicule du futur et la Région Bourgogne - Franche-Comté. L'inscription à la journée est gratuite, mais obligatoire, sur le site de la licence profesionnelle ARIA (Automatique et robotique industrielles pour l'assemblage) : *http://automatique.univ-fcomte.fr/ARIA/ARIAAccueil.php*

➡ Contact : Christophe Perrard
Groupe automatique et productique
Université de Franche-Comté
Tél. +33 (0)3 81 66 66 06
christophe.perrard@univ-fcomte.fr

« Communautés de pratique et management de la formation »

Cet ouvrage collectif se place à l'interface entre différentes interrogations et méthodologies concernant la formation professionnelle, les manières de l'envisager et de la gérer. Il adosse son propos au modèle des communautés de pratique défendu et rendu célèbre par le spécialiste en sciences de l'éducation Étienne Wenger, qui en signe d'ailleurs la préface. Il va plus loin dans l'analyse encore, en confrontant ce modèle aux apports des outils techniques et des conceptions pédagogiques modernes. Enfin, il s'inscrit dans une démarche d'accompagnement du projet InnovENT-E, dont l'objectif est d'aider, par la formation, à développer les compétences des PME en matière d'innovation, notamment à l'export.

Devenu une référence dans le domaine de la formation professionnelle, le modèle des communautés de pratique développe l'idée que l'apprentissage en milieu de travail dépend du degré de participation à cette communauté. Appartenir à une collectivité, y exercer le même métier qu'un collègue, s'engager dans ses activités sont sources de connaissance. Faire et apprendre deviennent indissociables.

Cependant ce modèle peut s'apparenter à des conceptions diverses, ce qui ne leur interdit pas d'être complémentaires : analyse de l'activité humaine dans l'entreprise, instrument de management des connaissances ou encore source d'inspiration organisationnelle.

L'ouvrage porte des regards également différents sur ce que signifient les communautés de pratique dans une optique de formation professionnelle. Il propose par ailleurs de mesurer ce modèle aux possibilités offertes par les nouveaux outils de communication et aux évolutions du monde du travail.

Ses réflexions s'inscrivent ainsi parfaitement à la démarche défendue par le projet InnovENT-E, auquel participe l'UTBM : apporter la formation nécessaire aux PME pour les aider à accroître leur potentiel innovant et favoriser leur développement à l'export.

Regroupant des contributions rédigées par de nombreux spécialistes, notamment en sciences de l'éducation et en sciences de gestion, relayant différentes expériences vécues en entreprise, ce livre est un outil destiné à tous les responsables pédagogiques eux aussi intéressés, dans leur domaine, par l'innovation.

Soulier E., Audran J., (sous la direction de), *Communautés de pratique et management de la formation*, Pôle éditorial de l'UTBM, 2017

« L'anthropotechnologie, cultures et conception »

L'anthropotechnologie se propose d'étudier et d'améliorer les conditions de travail et de vie des populations, en intégrant le facteur humain à la conception des produits et des technologies. Elle veut tenir compte des habitudes et du contexte de vie des personnes à qui ces derniers sont destinés, pour les imaginer et les réaliser de la manière la plus adaptée possible.

Cette prise en compte des dimensions humaines et sociales dans la conception technologique fait son chemin depuis trente ans. Promue discipline scientifique à part entière, l'anthropotechnologie entre à la Haute Ecole Arc en 2007, où l'ethnologue Philippe Geslin crée le premier laboratoire de recherche à lui être consacré ; c'est aujourd'hui le groupe de compétences Conception de produits centrée utilisateurs, dirigé par Carole Baudin, spécialiste en ergonomie. L'anthropotechnologie s'est par ailleurs imposée dans les maquettes pédagogiques de l'école, où tous les étudiants de la filière *Industrial Design Engineering* bénéficient aujourd'hui de ses enseignements.

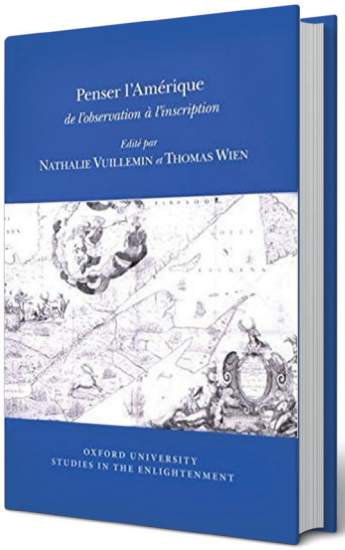
Véritable artisan du développement de la discipline à la Haute Ecole Arc, Philippe Geslin relate

dans l'ouvrage *L'anthropotechnologie, cultures et conception*, la philosophie et l'évolution d'un domaine qui s'est d'abord tourné vers les pays en voie de développement, où la distance entre population et technologie est la plus marquée, avant de s'intéresser au monde de l'entreprise. Différents exemples applicatifs illustrent sa manière de procéder, de la gestion de ressources en eau à la transmission de pratiques horlogères, en passant par la mise au point de prothèses de jambe, montrant que l'anthropotechnologie peut se décliner pour les besoins d'une ONG comme ceux d'une PME.

Philippe Geslin estime d'ailleurs qu'elle sera un atout majeur pour accompagner l'industrie du futur et ses bouleversements.

Geslin P. (sous la direction de), *L'anthropotechnologie, cultures et conception*, vol.1, Éditions ISTE, 2017

« Penser l'Amérique »



Découvrir l'Amérique, la raconter… l'interpréter ?

Les XVII[e] et XVIII[e] siècles ont constitué la période la plus féconde pour alimenter la connaissance sur le Nouveau Monde grâce à des observations réalisées sur le terrain, puis transcrites sous forme de cartes, de gravures et d'écrits divers. À tel point que cette connaissance devint un enjeu essentiel de la colonisation. La transcription des appréciations faites sur le territoire, les peuples, la nature, se heurte à l'époque à un double écueil : la difficulté à rendre compte d'une réalité totalement exotique, très éloignée des standards de compréhension européens, et la lecture arbitraire de ces observations, amenant à une transmission choisie de la connaissance.

La première problématique est d'ordre technique tout autant que culturel : les méthodes et outils scientifiques ne sont pas adaptés à la complexité du territoire observé ; la méconnaissance des langues et des cultures indigènes, les préjugés aussi rendent compliquées les formulations de la pensée, formatées à l'européenne. Brouillant encore un peu plus la lisibilité des témoignages, les congrégations, les autorités coloniales et même les philosophes s'emparent du propos pour n'en retenir que ce qu'il est jugé souhaitable de communiquer à leurs contemporains puis de léguer à la postérité. L'étude des archives, dans lesquelles cohabitent les fragments déjà portés à la connaissance et les informations passées sous silence, est à ce titre éloquente.

L'orientation donnée à la transcription et à la transmission des observations, qu'elle soit ou non volontaire, montre ainsi comment le Nouveau Monde devint partie du monde connu des Européens. C'est sous l'angle de ce « processus d'intégration » que les auteurs de l'ouvrage *Penser l'Amérique* proposent de relire le discours colonial sur l'Amérique, et de reconsidérer les testaments laissés par les observateurs des XVII[e] et XVIII[e] siècles.

Penser l'Amérique est un ouvrage collectif édité par Nathalie Vuillemin, enseignante-chercheure en littérature à l'université de Neuchâtel, et Thomas Wien, spécialiste de l'histoire de la Nouvelle-France et du monde atlantique français à l'université de Montréal.

Vuillemin N., Wien T., *Penser l'Amérique : de l'observation à l'inscription*, Oxford University Studies in the Enlightenment (Oxford, Voltaire Foundation, 2017)

Quel temps fait-il en forêt ?

Moins chaud quand il fait chaud, moins froid quand il fait froid ! La forêt adoucit et régule les fluctuations des températures, telles qu'elles sont relevées dans les stations météo. Des constats révélés par une étude menée au cœur de la forêt du Jura, pour mieux comprendre ce milieu naturel et observer son évolution.

Capteur de Labergement (25)

Si la météo et les variations de température font l'objet des plus vives attentions de la part des experts comme du grand public, elles ne suscitent que peu d'intérêt dès lors qu'on pénètre en forêt. Pourtant la forêt est un paysage d'importance. En Franche-Comté, elle couvre près de la moitié du territoire ; elle est synonyme de richesses pour l'homme, de l'exploitation du bois au tourisme, abrite sources naturelles et nappes phréatiques, et sert d'écrin à un écosystème riche, dont l'équilibre dépend justement en grande partie des températures et du climat. Pour pallier ce déficit de connaissances, le climatologue Daniel Joly dirige depuis 2011 une étude au sein de la forêt jurassienne, la première de cette ampleur à être menée dans une forêt en France. L'observatoire comptait à l'origine trente capteurs de température, installés en vis-à-vis de ceux de Météo France, afin d'établir des comparaisons entre forêt et milieu ouvert. Depuis 2014, vingt autres capteurs complètent les investigations, et concernent des zones hors du périmètre de Météo France comme les fonds de vallée, les reculées ou certains points de la haute chaîne. De Clerval à Oyonnax, de la forêt de Chaux au val de Morteau, les capteurs fixés au tronc des arbres enregistrent les températures toutes les six minutes. « Nous terminons actuellement le traitement des données relevées sur trois années pleines, explique Daniel Joly. De là, nous pourrons fournir des modèles à la fois spatiaux, pour étendre nos estimations à une zone plus vaste, et temporels, comprenant des comparaisons avec les relevés Météo France depuis la fin du XIX^{e} siècle et des prévisions d'évolution pour l'avenir.

Tendance à la pondération

Si l'analyse n'est pas tout à fait terminée, les grandes tendances se dessinent : les amplitudes journalières sont moins importantes en forêt qu'en milieu ouvert, et quelle que soit la saison, il fait plus chaud le matin et plus frais l'après-midi à l'abri des arbres. De manière générale, les températures affichent en forêt 2°C de plus l'hiver (minimales) et 3 à 4°C de moins l'été (maximales). Les écarts avec le milieu ouvert s'atténuent lorsque le temps est maussade, et à l'inverse s'amplifient quand il fait beau. En forêt en effet, la plupart des variables climatiques sont modifiées par la végétation : le rayonnement solaire est capté par les feuilles et les branches, et la force du vent est atténuée. De même, l'humidité est plus importante, surtout en été en raison de la transpiration des végétaux, et en hiver, la neige accumulée sur les chemins de desserte forestière fond moins vite qu'en espace ouvert. Daniel Joly note l'importance de l'altitude dans cette analyse : « c'est la variable qui structure le plus rigoureusement la variation spatiale des températures des deux milieux ». L'observatoire du climat est un projet de recherche mené par le laboratoire ThéMA, en lien avec le laboratoire Chrono-environnement et avec le soutien du parc naturel régional du Haut-Jura. Il est l'un des dispositifs de la ZAAJ, la Zone atelier Arc jurassien, labellisée en 2013 par l'INEE, l'Institut écologie et environnement du CNRS.

➡ Contact : Daniel Joly - Laboratoire ThéMA - UFC / UB / CNRS - Tél. +33 (0)3 81 66 54 02 - daniel.joly@univ-fcomte.fr
https://zaaj.univ-fcomte.fr/

UBFC se dote de masters internationaux

Ils ne se substituent pas aux masters déjà existants dans les établissements membres de la communauté, mais s'ajoutent à l'offre de formation proposée sur les territoires comtois et bourguignon : plusieurs masters de portée internationale se sont ouverts cette rentrée sous l'égide d'UBFC.

Photo Ludovic Godard - UFC

Couvrant un large spectre des spécialités scientifiques régionales, ils ont été choisis pour la qualité de la recherche à laquelle ils sont adossés, leur lisibilité sur la scène mondiale, leur capacité à attirer les étudiants, notamment étrangers, leur adéquation avec la réalisation de carrières à l'international... Ils ont pour mention Automatique, robotique ; Science et technologies de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement ; Biologie de la conservation ; Physique fondamentale et applications ; Intelligence économique, et ont été créés à UBFC par des enseignants-chercheurs du site, avec une mise en œuvre effective dès la rentrée 2017 pour les quatre premiers, et un démarrage prévu en 2018 pour Intelligence économique et son parcours *Behavioral and digital economics for effective management*.

Rayonnement et attractivité sont les deux mots clés qui sous-tendent la démarche pédagogique de la communauté d'établissements régionale. « Ces masters sont un moyen de faire rayonner l'excellence de nos formations et de notre recherche au-delà des frontières de l'hexagone. En retour, ils sont un élément fort de l'attractivité de notre territoire. Notre objectif est de bénéficier de la présence accrue d'étudiants, d'enseignants-chercheurs et de chercheurs venus de tous horizons », indique le président d'UBFC, Nicolas Chaillet. « Cela va entraîner un brassage de compétences et de cultures, instituer un environnement international favorable à l'ouverture d'esprit, à l'enrichissement réciproque de nos étudiants et des étudiants étrangers », complète Khadija Chahraoui, vice-présidente chargée de la coordination de la formation et de l'insertion professionnelle à UBFC.

Révisions de rentrée

La communauté d'établissements UBFC a pour membres fondateurs : l'université de Bourgogne (UB), l'université de Franche-Comté (UFC), l'université de technologie Belfort-Montbéliard (UTBM), l'École nationale supérieure de mécanique et des microtechniques de Besançon (ENSMM), AgroSup Dijon, *Burgundy School of Business* (BSB) et l'ENSAM.

Elle comprend 66 000 étudiants répartis sur l'ensemble du territoire de la grande région.

À ces membres sont associés dans le projet I-SITE-BFC : les organismes nationaux de recherche (INRA, INSERM, CNRS, CEA), les établissements hospitalo-universitaires de Bourgogne et de Franche-Comté (CHU Dijon, CHU Besançon, Centre Georges François Leclerc, Établissement français du sang).

Parcours des masters en 2017

Les mentions des cinq masters sont spécifiques à UBFC et ont été accréditées par le ministère de l'Enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, ce qui explique que leurs intitulés soient formulés en français. Chacune des mentions comporte un ou plusieurs parcours qui, eux, sont libellés en anglais. Toutes les formations sont portées par deux établissements membres d'UBFC au moins.

Mention	Parcours	Effectifs à la rentrée 2017	Établissements impliqués
Automatique, robotique	*Control for green mechatronics*	M1 : 11	UFC /ENSMM
Sciences et technologies de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement	*Physiological and Psychological FOOD choices Determinants*	M1 : 10	AGROSUP /UB
Biologie de la conservation	*- Ecology, Monitoring and management of Ecosystems* *- Behavioural Ecology and Wildlife Management*	M1 : 31 M2 : 27	UB /UFC
Physique fondamentale et applications	*Physics, Photonics & Nanotechnology*	M1 : 10 M2 : 13	UB /UFC /UTBM

I-SITE-BFC maître d'œuvre

I-SITE-BFC est à la fois le moteur et l'instrument de cette ambition. Projet lauréat en 2016 du programme d'investissements d'avenir, doté d'un budget de l'ordre de huit millions d'euros par an de l'État, auquel s'ajoute un financement régional, I-SITE-BFC est un volet opérationnel de grande envergure pour UBFC. C'est par son intermédiaire que des experts internationaux ont été mandatés pour évaluer les projets de masters à placer sous l'égide de la communauté. C'est aussi I-SITE-BFC qui a débloqué les fonds nécessaires au montage des formations, s'ajoutant à l'engagement financier des établissements. Le budget, estimé à soixante-quinze mille euros par master et par an, comprend le financement de bourses pour les étudiants, la prise en charge de la mobilité des chercheurs et des enseignants, les frais de traduction… car l'enseignement en anglais est l'une des caractéristiques des masters internationaux. Selon la formation dispensée, 60 à 90 % des cours sont d'ores et déjà assurés dans la langue de Shakespeare. Le soutien d'I-SITE-BFC a permis un engagement très rapide et un montage solide des formations dès réception de l'accréditation du ministère en mars dernier, un dynamisme renforcé par le travail de coordination d'UBFC mené à l'échelle du site et une mobilisation exemplaire de ses personnels et de ceux des établissements concernés. Le bon démarrage des masters est une vraie satisfaction. « Leur promotion a été assurée lors de déplacements à l'étranger, comme à Tomsk en Sibérie en mai dernier, par le biais des journées Campus France et des journées rencontre de l'ambassade de France, grâce aux réseaux professionnels des chercheurs et des établissements… », raconte Yevgenya Pashayan-Leroy, chargée de la promotion de l'internationalisation des formations à UBFC. Les résultats sont à la hauteur des efforts fournis puisque les masters affichent complet, avec des effectifs comptant jusqu'à 90 % d'étudiants étrangers, venant d'Egypte, d'Arménie, de Russie, du Venezuela, d'Inde, de Chine, du Congo, du Nigeria, de Serbie, du Mexique, du Liban, du Chili, de Tunisie... Dix à trente étudiants ont été admis selon les mentions proposées, qui ont chacune fait l'objet de plusieurs dizaines de candidatures. Le développement des masters internationaux devrait suivre un rythme aussi soutenu dans les années prochaines, avec la création de quatre à cinq mentions ou parcours nouveaux par an.

➡ Contact : Khadija Chahraoui / Yevgenya Pashayan-Leroy
UBFC – Université Bourgogne - Franche-Comté
Tél. +33 (0)3 63 08 26 50 - secretariat@ubfc.fr - http://www.ubfc.fr

Le Petit Comtois et ses confrères épluchés

« Éditorial : article qui émane de la direction d'un journal, d'une revue, et qui définit ou reflète une orientation générale (politique, littéraire, etc.) ». La définition du Petit Robert *semble mise à mal depuis quelques décennies. En témoigne un travail de recherche en sciences du langage mené sur la presse régionale et nationale sur plus d'un siècle.*

Fenêtre de liberté d'expression par excellence, échappant à toute règle de style, l'éditorial apparaît dans la presse française vers 1900. À l'origine placé en ouverture de journal, souvent signé des plus grandes plumes, il affiche ses opinions pendant des décennies avant de voir son discours s'édulcorer, puis il se perd dans les pages intérieures voire disparaît carrément de certains titres.

Virginie Lethier est enseignante-chercheure en sciences du langage à l'université de Franche-Comté. Elle a choisi cette forme particulière d'expression journalistique qu'est l'éditorial pour mettre en évidence l'évolution de la presse française.

Menée sur plus d'un siècle (1900-2015), l'enquête est inédite et inclut titres de presse quotidienne régionale et nationale. *Le Petit Comtois*, *Le Comtois*, *L'Est Républicain*, *Ouest-France*, *Sud-Ouest*, *Charente Libre*, *La Provence*, *La Croix*, *Le Figaro*, *Le Temps*, *Libération*, *Le Monde* et *L'Humanité* : la recherche concerne un *corpus* de près de 600 000 mots, soit quelque 1 300 éditoriaux. Pour acquérir ces données, les fichiers image de certains journaux ont dû être transformés en fichiers texte selon un procédé informatique appelé « océrisation ». « Un des défis majeurs de l'étude a été de travailler sur des titres anciens : les exemplaires sont abimés par le temps, la netteté des lettres est altérée, ce qui affaiblit la qualité de la reconnaissance optique des caractères », explique Virginie Lethier. Pour pallier cette difficulté, l'équipe du laboratoire ELLIADD met alors au point un outil de correction semi-automatique des sorties OCR : baptisé PRESTO, il propose à l'utilisateur de remplacer des mots soupçonnés fautifs. L'analyse de l'énorme masse de données du *corpus* peut alors démarrer.

Éditos en mal d'opinion

Le projet d'analyse commence avec *Le Petit Comtois*, « journal républicain démocratique quotidien ». Né en 1883, *Le Petit Comtois* milite farouchement en faveur de la République, une construction alors encore fragile. Le ton est polémique, et les éditos se montrent virulents contre les ennemis de la République, les cléricaux et les modérés. « *Le Petit Comtois*, à ses débuts, est avant tout un journal de plume de combat », remarque Virginie Lethier. Le quotidien régional garde un caractère bien trempé jusqu'à l'interdiction de sa publication en 1944, dont le titre ne se relèvera pas.

La comparaison des éditoriaux du *Petit Comtois* avec ceux d'autres journaux, régionaux et nationaux, tout en confirmant les spécificités du titre franc-comtois, livre des informations sur l'évolution des productions journalistiques. Les éditoriaux de l'ensemble des titres de presse étudiés sur la période 1900-2015 suivent une évolution de discours dont la textométrie a su repérer les marqueurs et dater les étapes. Le genre devient

92e ANNEE. — N° 1.211 LE NUMERO : UN FRANC LUNDI 22 MAI 1944

LE PETIT COMTOIS

★★ 4 Rédaction et Administration : 20, rue Gambetta, BESANÇON

L'APPEL DES CARDINAUX

Appel ou condamnation ? Les deux sans doute s'inscrivent dans ce message des cardinaux de France à l'Episcopat de Grande-Bretagne et des Etats-Unis.

L'appel sera-t-il entendu ? On voudrait l'espérer. Mais, dans ce monde en folie, peut-on encore faire fond sur la bonne volonté des dirigeants anglo-américains ? Si persuasives qu'elles soient, les paroles des princes de l'Eglise française n'apprendront rien à M. Churchill ni à M. Roosevelt... Ils

Des violents combats continuent sur le front méridional de l'ITALIE

Communiqué allemand

Grand Quartier Général du Führer. — Le Haut-Commandement des forces armées allemandes communique :

Après avoir, dans la matinée du 20 mai, effectué des pointes de reconnaissance contre nos nouvelles positions

formations de bombardiers anglo-américains ont lancé des bombes explosives et incendiaires sur Amiens. Plusieurs immeubles ont été détruits ou incendiés. Une fusée a fait explosion dans une maison ouvrière où trois enfants d'une mère de famille âgés respectivement de six ans, trois ans et trois mois.

LE TRAVAIL VOLONTAIRE DES FEMMES

La préfecture régionale communique :

« La situation de l'économie française nécessite tous les jours la mise au travail de nouvelles catégories de la population. La main-d'œuvre masculine n'étant plus

La Conférence des Dominions n'a pas donné de résultats

Montréal. — Le communiqué publié à l'issue des débats de Londres, écrit la *Gazette de Montréal*, ne dissimule que difficilement l'inanité des résultats obtenus. Il semble bien que l'attitude intransigeante de M. Mackensie King a rendu impossible le resserrement des liens entre les membres de l'Empire.

En tout cas la conférence des premiers ministres des Dominions n'a absolument rien changé à la structure du

LA PRESSION anglo-américaine sur les neutres

Aucun accord avec la Suède

Stockholm. — Le journal suédois « Stockholm Tidningen » publie un démenti du ministère des Affaires étrangères de Suède relatif à une information de source américaine selon laquelle un accord serait intervenu entre les négociateurs suédois et américains au sujet des roulements à billes.

La pression sur la Suisse

Washington. — M. Charles P. Taft, chargé de mission au département d'Etat américain à l'Economie de guerre, a reconnu, au cours d'une mission à Indianapolis.

22 mai 1944, dernière parution du *Petit Comtois*

N° 8751 — Vingt-cinquiè[me] année — CINQ CENTIMES — Lundi 4 Novembre 1907

LE PETIT COMTOIS

JOURNAL RÉPUBLICAIN DÉMOCRATIQUE QUOTIDIEN

ABONNEMENTS — 3 mois / 6 mois / 1 an
Doubs, Haute-Saône, Jura, territoire de Belfort.... 5f50 10fr. 18fr
Autres départements.... 7 13 24
Pays étrangers.... 10 20 40
Les Abonnements partent des 1er et 15 de chaque mois
Prière de joindre 50 cent. pour tout changement d'adresse

RÉDACTION ET ADMINISTRATION
BESANÇON — 20, Rue Gambetta, 20 — BESANÇON
Toutes les communications, sans distinction, doivent être adressées à M. LE DIRECTEUR du « Petit Comtois »

INSERTIONS
Faits divers.... la ligne 3 fr. | Annonces commerciales, la ligne. 1 fr.
Réclames.... — 2 fr. | Annonces judiciaires.... — 30 c.
L'Agence Havas, place de la Bourse, 8, est seule chargée, à Paris, de recevoir les annonces pour le journal
Les insertions locales départementales et des départements limitrophes Côte-d'Or et Suisse sont reçues au bureau du journal

OPINIONS

N'exagérons rien !

« La France est ruinée ! » C'est le cri de guerre en faveur au camp réactionnaire. Nous l'entendons depuis bientôt dix ans et nous l'entendrons longtemps encore. Oui, malgré le bien-être général, malgré une prospérité évidente et des rendements d'impôts dépassant toutes les prévisions, la France est ruinée ! Dimanche dernier, à Vervins, M. Caillaux, ministre des finances, exposait le projet d'impôt sur le revenu que la Chambre discutera en janvier prochain en toute indépendance, et il faisait entendre, à cette occasion, des paroles dont l'esprit conciliant ne peut être mis en doute. Croyez-vous que les adversaires du projet vont se résigner maintenant à attendre l'heure de la discussion, approfondie et impartiale, ou à ne la préparer que par des arguments de raison et par des chiffres ? C'est tout le contraire qui se passe ! « Gare à la banqueroute, s'écrient-ils, sans conviction, filons en Belgique. » On est patriote ou on ne l'est pas.

D'autres disent : « La France est à la merci d'une invasion; elle n'est pas défendue. Ses forteresses sont en ruines; ses canons éclatent comme du verre; ses arsenaux sont vides; ses régiments sont décimés; ses chefs sont incapables. » On a beau leur crier et leur prouver que tout cela est faux, que si des imperfections subsistent, de grandes choses ont été faites, qu'elles continuent, que l'état moral de l'armée est bon, que le commandement est assuré, que, sans doute, il ne faut pas s'endormir et se croiser les bras, mais que le pays peut tout de même avoir confiance. Eh bien ! ils ne désarment pas. « La France n'est pas défendue », persistent-ils à clamer pendant que l'étranger ouvre l'œil et que les Hervé se frottent les mains.

La France est trahie ! République et trahison, c'est tout un ! prétendent avec une joie à peine dissimulée les patriotes de l'antisémitisme. Pensez donc ! on a mis la main sur un juif, et, paraît-il, sur un franc-maçon, suspects de trahison. Si les individus accusés d'actes aussi odieux appartenaient au parti clérical ou à une congrégation religieuse, ces mêmes gens tiendraient un tout autre langage. Nous, nous ne connaissons ni juifs, ni francs-maçons, ni prêtres, ni moines, quand il s'agit d'établir un délit ou un crime; la justice égale pour tous nous suffit, et il ne nous viendrait pas à l'idée de généraliser et de faire tomber sur un groupement, sur une race, sur une religion, le forfait d'un seul : c'est de la simple probité. Non, la France n'est pas trahie, parce que deux Français ont tenté de la vendre. A chaque instant, les tribunaux allemands ont à juger des affaires de trahison. Peut-on dire pour cela que l'Allemagne est trahie ? Les frères et les sœurs de l'homme qui a tué son père sont-ils des parricides ? Tous les pharmaciens sont-ils des empoisonneurs parce que l'un d'eux a failli ? Tous les tonneliers de France sont-ils solidaires des cambriolages de Thomas ?

peu à peu moins tendancieux et moins piquant, et le rôle du signataire change de nature : le porteur d'opinion des années 1900 perd de son idéal pour prendre une posture d'expert dès 1935, et plus encore à partir de 1955 ; il émet dès lors des avis sur des sujets le plus souvent débarrassés de toute idéologie.

1995 marque un autre tournant. Le marché de la presse écrite subit d'importants bouleversements, et les journaux doivent trouver de nouveaux positionnements. L'édito continue à adopter un discours plus consensuel, en vue de rassembler un lectorat plus large : les considérations économiques se conjuguent à la donne sociopolitique pour expliquer la neutralisation de l'édito.

Lire entre les lignes

Aidées dans leur tâche par le logiciel d'analyse textométrique TXM auquel pas une virgule n'échappe, Virginie Lethier et sa collègue Cyrielle Montrichard repèrent les changements de forme des éditoriaux : c'est à partir de cette analyse qu'il leur a été possible de suivre l'évolution du discours éditorial, puis de l'interpréter en relation avec le contexte politique, social, culturel et économique. « La subjectivité s'émousse au fil du temps, dès la fin de la première guerre mondiale. Ce gommage s'opère tout d'abord par l'abandon progressif de l'emploi des pronoms personnels *je*, *tu*, *nous* ; même constat avec *on*, particulièrement employé au début du XX[e] siècle comme outil de discours polémique, du genre « on vous ment ! »

De la même façon, à partir de 1935, les éditorialistes recourent moins qu'avant aux verbes, qui incitent à l'action, qu'aux noms, qui sont l'apanage de la conceptualisation et de la réflexion. « En allant plus loin dans l'analyse, on remarque de plus que les noms concrets se substituent à des concepts comme *justice* ou *liberté*, qui sont de plus en plus bannis du discours depuis 1975 », souligne Virginie Lethier.

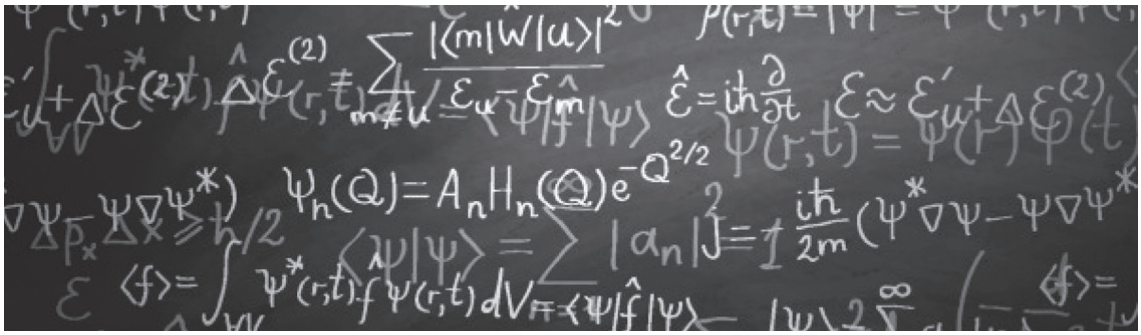
Les phrases raccourcissent, se simplifient avec l'abandon progressif des conjonctions et des pronoms relatifs, au point d'atteindre des constructions minimalistes en 2015. Parallèlement le conditionnel, mode de l'hypothèse et de la prudence, tend à s'imposer. Les adverbes de concession tels *sans doute* ou *certes* multiplient leurs apparitions. En définitive, la syntaxe et la grammaire se conjuguent pour que l'éditorial exprime l'opinion dominante en lieu et place des avis tranchés qu'il relayait dans le premier tiers du XX[e] siècle.

➡ Contact : Virginie Lethier - Laboratoire ELLIADD – Édition, Littératures, Langages, Informatique, Arts, Didactique, Discours - Université de Franche-Comté
Tél. +33 (0)3 81 66 54 46 - virginie.lethier@univ-fcomte.fr

Quid de la physique quantique ?

Formulée depuis près d'un siècle, la théorie de la physique quantique a convaincu même ses détracteurs les plus farouches à force d'expériences. Régissant un monde où cohabitent des éléments pas plus gros qu'un atome, ses lois sont à l'origine des avancées scientifiques et technologiques les plus extraordinaires de ces dernières décennies. Mais si on sait jouer avec les propriétés de la matière à toute petite échelle, les fondements de la physique quantique demeurent un vaste mystère. Ce qui n'est pas le moindre de ses fameux paradoxes…

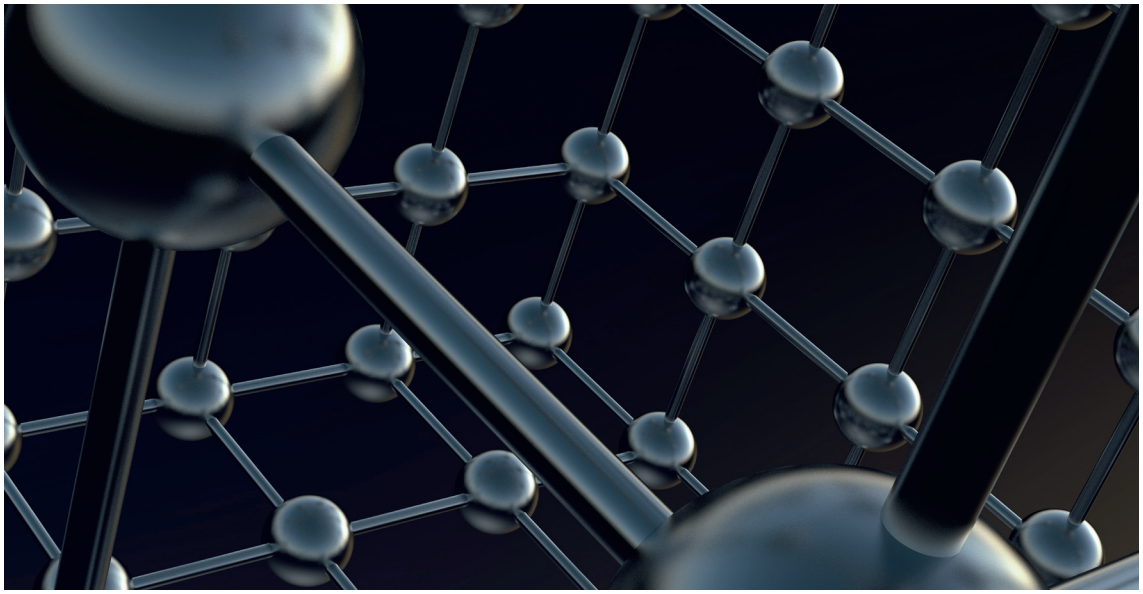
La physique quantique ? Elle est dans les ordinateurs, les lasers, ou encore les horloges atomiques. Ses applications ont transformé notre quotidien autant que sa théorie a révolutionné le domaine de la physique, au point de remettre en question jusqu'à notre conception du monde.
Certains pensent qu'il est plus judicieux de la confiner au stade de l'abstraction mathématique quand d'autres veulent la comprendre et la mettre en mots ; tous sont aujourd'hui convaincus de l'existence de ses lois propres, mais sont déroutés car l'admettre, c'est aussi accepter de balayer des convictions bien établies.
Bref, depuis la mort de Max Planck voilà tout juste soixante-dix ans, les héritiers du père de la physique quantique sont toujours dans la perplexité et confrontent, parfois de manière houleuse, leurs différents points de vue.



La science en panne de mots

Le séminaire Épiphymaths organisé au LMB (Laboratoire de mathématiques de Besançon), est un terrain de débat privilégié autour du sujet. Fondé par Jean Merker et Jean-Marie Vigoureux, il réunit régulièrement depuis trente-cinq ans mathématiciens, physiciens, mécaniciens et philosophes dans une vaste discussion pluridisciplinaire et féconde, partant des progrès de la connaissance, des résultats des dernières expériences et de la divergence des conceptions.
Le mathématicien Stefan Neuwirth met d'emblée tout le monde à l'aise : « Nous comprenons de mieux en mieux pourquoi nous ne comprenons pas. » C'est un début, et sur ce point là, les avis sont unanimes. « Même les prix Nobel de physique avouent leur incapacité à dominer le sujet, renchérit le philosophe Joël Garnier, faisant allusion à Richard Feynman, et qui explique : « La difficulté n'est pas seulement de comprendre ce qui se passe à l'échelle atomique, que gouvernent d'autres principes que ceux de notre monde connu, mais aussi de réussir à formuler avec des mots ce qui s'observe dans une expérience ou se vérifie dans une équation mathématique ».
« La physique quantique décrit le monde autrement, elle amène à une conception du réel différente de celle que nous considérions comme acquise depuis l'avènement de la science rationnelle » assène Daniel Van Labeke, physicien et spécialiste d'optique.
Joël Garnier résume en quelques mots l'opposition fondamentale entre la physique classique, qui a donné les clés de compréhension de notre monde macroscopique dès le XVII[e] siècle, et la physique quantique, née au début du XX[e] siècle, qui fait loi dans l'univers des particules élémentaires : « Pour la physique classique, le réel est ce qui advient, ce qui se produit de façon sûre. Pour la physique quantique, le réel est du ressort du possible, il est ce qui potentiellement peut arriver ». À l'échelle de l'atome, plus de déterminisme ni de certitudes : tout se déroule de façon aléatoire, et molécules, électrons, photons et autres neutrons marchent aux probabilités.
La physique quantique s'ingénie avec un malin plaisir à prendre le contrepied des principes stipulés par la physique classique. Parmi les postulats révolutionnaires qu'elle énonce, l'intrication est l'un des phénomènes les plus intéressants de la physique quantique. Elle stipule que les états de deux ou plusieurs particules peuvent être dépendants l'un de l'autre, quelle que soit la distance qui sépare ces particules. Impossible dans ce cas d'agir sur l'état de l'un sans que l'état de l'autre en soit immédiatement affecté. Une telle faculté est mise à profit dans le cadre de la recherche sur la cryptographie ou le développement d'ordinateurs quantiques.
Autre phénomène majeur, la superposition défie l'entendement en démontrant qu'un état quantique

peut prendre différentes valeurs, qu'il s'agisse de mesurer la position d'une particule ou sa quantité de mouvement. C'est la célèbre histoire du chat de Schrödinger, dont on ne sait pas s'il est « mort » *ou exclusivement* « vivant » tant qu'on n'a pas ouvert la boîte dans laquelle il se trouve. Il est dans un état superposé de mort *et* vivant avant l'observation.
Une situation aléatoire souvent décrite par l'expression *à la fois* mort *et* vivant, expression réfutée par de nombreux scientifiques qui la jugent inapte à refléter la réalité. L'histoire du chat de Schrödinger est exemplaire à double titre : elle illustre bien aussi la difficulté à formaliser les phénomènes quantiques avec les mots qui sont ceux du langage courant ou même de la science.
Enfin, il existe une interaction entre l'observation de ce qui se passe à l'échelle quantique et l'observateur, ce qui remet complètement en question la façon que nous avons d'appréhender la mesure. Dans certains cas en effet, les particulent voient leur comportement se modifier dès lors que s'immisce un instrument de mesure dans leur environnement.



Des programmes de recherche ambitieux

Au-delà de la difficulté à interpréter et à rendre compte de la réalité quantique, les scientifiques ont su se saisir de ses propriétés fondamentales pour signer les plus grandes avancées de ces dernières décennies. C'est grâce aux propriétés quantiques qu'ils ont fait naître le transistor, impliqué dans toutes les connexions électroniques à l'œuvre dans nos ordinateurs et nos portables, le laser, la spectroscopie ou encore l'imagerie par résonance magnétique. Les recherches se poursuivent, aussi bien au niveau fondamental qu'appliqué, encouragées par une volonté des politiques nationales et européennes de les soutenir plus activement dans les années à venir. Le projet I-QUINS entre dans cette dynamique. Lauréat de l'I-SITE-BFC[1], il réunit une équipe interdisciplinaire autour d'objectifs ambitieux. « C'est une reconnaissance importante pour les chercheurs qui travaillent sur le sujet depuis de nombreuses années, et qui vont désormais pouvoir intégrer leurs recherches à un cadre structurant, tout en bénéficiant de moyens supplémentaires », explique le mathématicien Frédéric Holweck, chercheur à l'Institut Carnot de Bourgogne et enseignant à l'UTBM, coordinateur du projet I-QUINS. Lié à la thématique de l'information quantique dont l'objectif est d'utiliser les paradoxes de la physique quantique pour développer les systèmes de communication de demain, le projet propose un programme scientifique très cohérent, construit sur trois niveaux, du plus théorique au plus expérimental. La géométrie de l'intrication est un aspect purement mathématique et

[1] Le projet I-SITE-BFC est un instrument opérationnel d'UBFC, associant aux établissements membres de la communauté de nombreux acteurs du monde socio-économique régional.

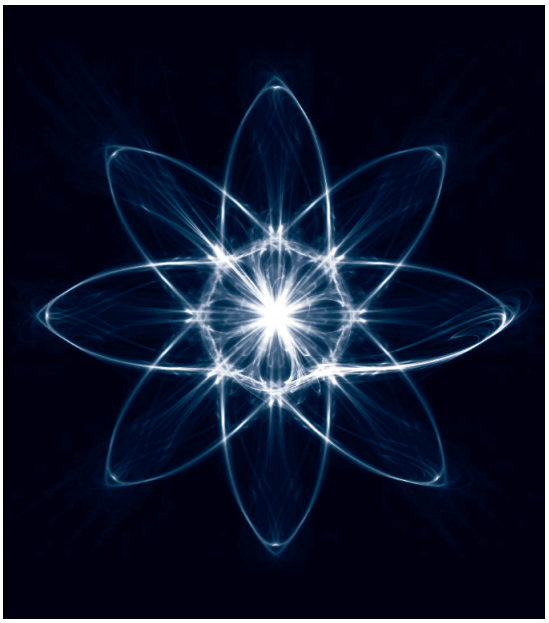
pionnier ; le contrôle quantique vise à décrire le processus physique faisant passer une particule d'un état à un autre et à en apporter une transcription mathématique ; enfin les expérimentations réalisées au sein d'une plateforme photonique ont pour but de développer de nouveaux composants et de se diriger vers de nouvelles applications. Le tout récent projet PHYFA, financé par la Région Bourgogne - Franche-Comté, prolonge et prend le relais d'I-QUINS sur ses aspects les plus expérimentaux, notamment grâce à la mise au point d'un banc photonique permettant d'éprouver des algorithmes quantiques.

À l'intérieur de ce programme, Frédéric Holweck s'intéresse tout particulièrement à théoriser l'intrication quantique, largement impliquée dans la transmission de l'information, le calcul quantique ou encore la téléportation quantique. « On cherche à décrire, grâce à des objets géométriques, les états intriqués produits par les algorithmes quantiques. L'espace des états intriqués purs présente une structure en « pelure d'oignon » : les différentes couches qui entourent le cœur, les états séparables, correspondent à autant d'états intriqués différents. L'idée est de décrire la géométrie de cette structure. » Les mathématiciens pourront à partir de là construire un modèle en se servant de la théorie des hypermatrices, permettant de « visualiser » les états quantiques comme des points dans cet espace.

Un autre paradoxe étudié dans ce premier axe d'I-QUINS est la notion de contextualité : en physique quantique, le résultat d'une mesure dépend des mesures passées et futures que l'on peut faire sur le système. Comme pour l'intrication, il existe une traduction géométrique de ce phénomène. Cette recherche sur la contextualité a été initiée par Michel Planat à l'Institut FEMTO-ST, où elle est développée depuis une quinzaine d'années, et est à l'origine d'importantes collaborations en France et à l'international.

L'intrication est également au cœur des préoccupations d'Uwe Franz, spécialiste d'analyse fonctionnelle au LMB et enseignant à l'université de Franche-Comté. « Les observables représentent les valeurs que peuvent prendre les états quantiques. Les matrices remplacent ces observables dans nos équations, qui portent le nom d'algèbres non commutatives, et sont nées de la théorie quantique. Nous tentons d'extraire les valeurs propres de ces observables à partir de ces algèbres. »

Uwe Franz rappelle que l'intrication quantique est une ressource capitale pour mettre un jour au point l'ordinateur quantique, dont les performances seront décuplées par rapport aux systèmes d'aujourd'hui. « Les ordinateurs actuels utilisent le système binaire pour assurer le transport et le traitement de l'information, grâce par exemple à des photons. Les valeurs 0 et 1 ne peuvent être intriquées, mais les photons, eux, le peuvent, ce qui ouvre de grandes possibilités. »



Peut-on faire toute la lumière sur les objets quantiques ?

La lumière, corpuscule ou onde ? Cela fait plus d'un siècle, depuis les travaux d'Albert Einstein et de Louis de Broglie, pour ne citer qu'eux, qu'on lui reconnaît les deux natures. Mais la lumière n'est que l'exemple le plus célèbre de cette dualité *a priori* antinomique : tous les objets physiques présentent cette particularité, et on ne peut décrire les phénomènes quantiques autrement qu'en acceptant l'idée que les particules puissent adopter des comportements liés à ces deux principes. Dire que la lumière est à la fois une onde et un corpuscule n'est pas exact : elle présente tantôt les propriétés de l'une, tantôt les propriétés de l'autre.

Intrication en images et en couleurs

En optique, Eric Lantz s'intéresse aux photons dès lors qu'ils vont par paires. « Nous travaillons sur des photons dont la fréquence est élevée, et nous les cassons en deux. L'opération donne naissance à deux photons de même énergie, dont la liaison est intime puisqu'il s'agit d'un seul objet au départ ». À l'Institut FEMTO-ST, des expérimentations sont menées de façon spatiale, en utilisant le support des images pour réussir à localiser ces photons. « Lorsqu'un photon traverse un champ vertical par un trou très étroit, il se projette n'importe où sur le plan image placé derrière. Sa direction de propagation est inconnue. »

Les expériences montrent que dans le cas de photons jumeaux, et si on place le détecteur (caméra) à un endroit bien précis, on s'aperçoit que les deux photons se positionnent sur le même plan image, de façon exactement symétrique. « Si le premier photon prend toujours une direction aléatoire, il est en revanche possible de localiser très précisément le second par rapport à la position du premier. »

Le recours aux photons jumeaux, en augmentant la qualité de la détection, laisse espérer des améliorations notables dans le domaine de l'imagerie, parce qu'il devient possible d'une part de capter une intensité lumineuse très faible, comme c'est le cas pour les objets biologiques, d'autre part de reconstituer l'image d'un objet à partir du deuxième photon jumeau.

Il ne faut pas oublier en effet que la détection d'un photon implique sa destruction immédiate… L'intrication créée grâce aux photons jumeaux permet de garder intact le second photon et de remonter, par déduction, à la genèse du premier. Une propriété également particulièrement utile à la cryptographie…

C'est justement la cryptographie qui a amené Jean-Marc Merolla, lui aussi chercheur en optique à l'Institut FEMTO-ST, à mettre au point des systèmes et des architectures quantiques pour les besoins des télécommunications, voilà une quinzaine d'années. « Nous avons alors élaboré des systèmes de détection de signaux optiques très faibles, dans le domaine des infrarouges. » Ces travaux ont donné naissance en 2010 à la *spin-off* AUREA TECHNOLOGY, spécialisée dans le comptage de photons.

Aujourd'hui, les travaux de recherche comme de valorisation commerciale s'orientent vers la fabrication de sources à photons jumeaux. Comme dans l'expérience réalisée par Eric Lantz, on connaît ici la couleur du second photon jumeau dès lors qu'on a repéré le premier, dont l'émission reste aléatoire : on ne sait pas dans quelle couleur va émettre le premier photon. « Dans le domaine des télécommunications, l'intrication des photons jumeaux devrait permettre de relayer l'information sur de plus grandes distances, grâce au développement de répéteurs quantiques : l'information est régénérée à chaque relais, ce qui contrebalance l'effet de la perte de transmission. » Pour cette application, l'utilisation des photons intriqués en fréquences semble prometteuse et compatible avec les mémoires quantiques. « Si l'on absorbe et on réémet un des photons intriqués à l'aide de ces mémoires, alors celui-ci conserve son intrication en fréquence avec son photon jumeau. En outre les sources intriquées en fréquences peuvent être intégrées sur des substrats comme le silicium, permettant ainsi de fabriquer des puces à grande échelle. » Le procédé n'est pas sans présenter des analogies avec le codage en longueurs d'ondes des réseaux de communications optiques fibrés.

La décohérence joue les trouble-fête

Si l'intrication est largement mise à profit dans le développement de systèmes quantiques, elle n'en reste pas moins un phénomène fragile, qu'il faut protéger d'un environnement perturbateur, appelé bruit quantique. « À ces échelles, éliminer le bruit est impossible, il existe toujours des fluctuations qui empêchent d'isoler parfaitement un système », explique Bruno Bellomo, chercheur à l'Institut UTINAM et enseignant à l'IUT Besançon-Vesoul.

Le physicien travaille à mettre au point des stratégies pour réduire les perturbations générées par l'environnement et ainsi protéger l'intrication des états.

« On essaie aussi de modifier le bruit quantique pour que ses effets deviennent bénéfiques. C'est le cas d'une étude théorique menée avec des collègues de Montpellier, exploitant l'absence d'équilibre thermique. » Ces méthodes d'optimisation de l'environnement s'apparentent au domaine du contrôle quantique, que Bruno Bellomo décline encore. « Une autre stratégie consiste à intervenir sur les systèmes atomiques grâce à des champs laser pour conduire les atomes vers des états cibles. » Cette méthode porte le nom de « contrôle cohérent ». Si on vise à optimiser la forme temporelle de ces champs laser par rapport à la cible choisie, on fait du « contrôle optimal ». L'association de cette méthode à la première, qui vise à modifier le bruit quantique, donne lieu à une piste de recherche actuellement développée en collaboration avec Dominique Sugny (ICB) au sein du projet I-QUINS.

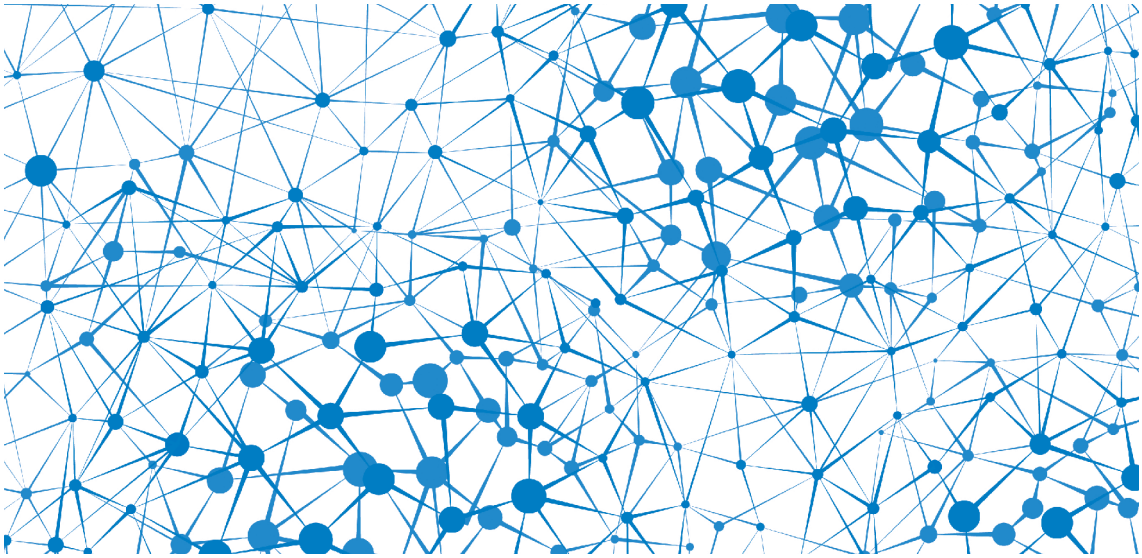
Concocter de nouvelles réactions en mélangeant les recettes semble d'ailleurs une spécialité de l'équipe de Bruno Bellomo… Ainsi deux phénomènes, habituellement étudiés séparément, ont été comparés entre eux : la synchronisation, observée à la fois en physique classique et en physique quantique, et la superradiance, exclusivement quantique.

La première montre qu'à la manière de deux horloges qui se synchronisent dès lors qu'elles sont placées sur un même support mobile, ou des applaudissements d'un public qui se mettent au diapason, des atomes peuvent s'aligner sur la même fréquence s'ils partagent le même environnement, capable de les intriquer.

La seconde, la superradiance, est due au fait que l'émission de photons de la part d'un atome peut être fortement influencée par la présence d'autres atomes dans ses alentours, l'émission pouvant survenir plus rapidement. Les chercheurs ont remarqué qu'il existe une corrélation entre le moment où se produit la synchronisation et celui de la superradiance, et espèrent pouvoir tirer parti de cette connexion.

Une autre ligne de recherche menée par Bruno Bellomo exploite l'indiscernabilité des particules élémentaires pour réaliser des protocoles aptes à préparer plusieurs particules dans des états intriqués particulièrement intéressants.

Si intrication et changement d'état sont largement étudiés par la théorie, ces propriétés sont tout autant utilisées dans des applications pratiques, comme la mise au point de l'horloge atomique.



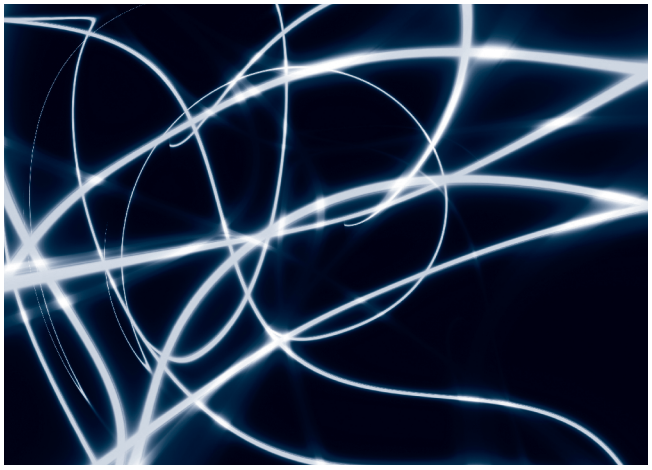
Source d'énergie quantique

Les clathrates hydrates (ou hydrates de gaz) sont des molécules de glace organisées sous forme de cages piégeant diverses molécules de gaz. On les trouve là où les conditions de température et de pression sont adéquates, par exemple dans les fonds marins ou dans les sols gelés de l'Alaska. Leur présence est telle qu'ils surpasseraient en quantité la totalité des ressources en énergie fossile de la planète, toutes origines confondues. À l'Institut UTINAM, Ludovic Martin-Gondre s'y intéresse aussi bien sur le terrain de la chimie théorique qu'au travers de protocoles expérimentaux, réalisés avec l'université de Bordeaux. « Vérifier par la simulation théorique ce que nous avons observé dans les expériences permet d'améliorer notre compréhension des propriétés des molécules et de leurs interactions. »
Ces interactions sont mises en évidence grâce à l'équation de Schrödinger et à sa résolution par la théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT). La DFT, développée en 1964-1965 et récompensée par le prix Nobel de chimie en 1998, est une méthode largement utilisée en chimie quantique, car elle est adaptée à des systèmes de quelques atomes à plusieurs centaines. Ce qui est exactement le cas des clathrates hydrates, constitués d'un agencement de plusieurs cages donnant naissance à des structures nanométriques pouvant compter jusqu'à cinq cents atomes par maille élémentaire.
« Calculer les énergies d'interaction entre les molécules donne la possibilité de mieux comprendre comment stabiliser ou déstabiliser les hydrates de gaz. » L'enjeu est non seulement leur exploitation potentielle – et d'ailleurs controversée – comme vecteur d'énergie, mais également la maintenance des oléoducs/gazoducs qui subissent la formation spontanée de clathrates, ou encore le rôle joué par les hydrates de gaz dans les changements climatiques globaux. Sous l'effet du réchauffement climatique, les grandes quantités de méthane contenues dans les clathrates sont susceptibles d'être libérées dans l'atmosphère et d'accentuer le réchauffement global. Contrôler la stabilité des clathrates hydrates à travers l'utilisation d'outils de la chimie quantique représente donc un enjeu de taille dans les défis environnementaux actuels.

Le temps des atomes

À césium, au rubidium, au mercure, à l'aluminium, à l'indium… l'horloge atomique est née avec la physique quantique et notamment la spectroscopie, qui a donné la possibilité de mesurer la structure énergétique des atomes. Dans le monde quantique, le changement d'état des atomes s'effectue de manière quantifiée et non continue : de grandes marches qu'une onde électromagnétique fait gravir aux atomes en leur apportant de l'énergie. Lorsque la fréquence de l'onde excitatrice est résonante avec la fréquence naturelle de transition de l'atome, ce dernier transite entre deux niveaux d'énergie, passant d'un état fondamental à un état excité, et fournit alors un signal de résonance détectable, lui-même mis à profit pour stabiliser la fréquence de l'oscillateur local, coeur de l'horloge.
Toutes les horloges atomiques dites passives fonctionnent selon ce principe. Les niveaux d'énergie diffèrent cependant selon les atomes utilisés : les horloges atomiques à césium présentent une fréquence de transition d'horloge proche de 9,192 GHz. L'oscillateur local, généralement un oscillateur à quartz multiplié en fréquence ou un oscillateur saphir, émet alors un signal dans le domaine des hyperfréquences. La dernière décennie a vu le boom des horloges atomiques optiques, exploitant un atome dont la fréquence de transition n'est plus

dans le domaine hyperfréquence mais dans le domaine optique. Dans ce cas, l'oscillateur local est un laser, lui aussi pur produit de la physique quantique. Ces horloges battent au rythme exceptionnel de 10 000 milliards de battements par seconde, atteignant une précision inégalée.



Actuellement développées en laboratoire, ces horloges optiques de nouvelle génération atteignent des stabilités relatives de fréquence de 10^{-18} : cela correspond à une horloge qui aurait perdu moins d'une milliseconde depuis la naissance de l'Univers...

Les possibilités de déclinaison de l'horloge atomique sont immenses, et dépendent des applications que l'on veut mettre en avant. Au département Temps-Fréquence de l'Institut FEMTO-ST, Rodolphe Boudot piège par voie optique des atomes de césium en agitation thermique au sein d'une cellule : ces atomes se trouvent dans un état de superposition cohérente quantique entre deux niveaux d'énergie. « On observe alors une modification nette de l'absorption de la lumière provenant du laser excitateur. Les atomes deviennent comme transparents, leur fluorescence diminue et l'on peut détecter un maximum de puissance lumineuse transmise à travers la cellule. » Ce phénomène physique, nommé piégeage cohérent de population, permet aujourd'hui le développement d'horloges atomiques micro-ondes très compactes, voire miniatures grâce à l'apport des techniques de microfabrication.

La micro-horloge atomique mise au point par Rodolphe Boudot et ses collègues occupe un volume total d'environ 15 cm^3, pour une consommation de l'ordre de la centaine de milliwatts. Elle fait aujourd'hui, en collaboration avec deux partenaires industriels, l'objet d'un développement visant l'obtention d'un produit commercial à l'horizon 2020.

De leur côté, Clément Lacroûte et Marion Delehaye travaillent à la mise au point d'une horloge optique à un seul ion, dans l'objectif de la rendre compacte et transportable. « Cinq lasers sont impliqués dans son fonctionnement, mais un seul assure la transition énergétique d'horloge de l'ion ytterbium (Yb), explique Clément Lacroûte. » Les quatre autres se chargent de manipuler l'unique atome impliqué pour le maintenir dans des conditions d'observation optimales. « Cette technologie en appelle à la physique des atomes froids, complète Marion Delehaye. L'ion Yb est maintenu immobile par les champs laser, ce qui amène son agitation thermique à une valeur proche de zéro ». Cette horloge compacte sera un instrument de choix pour la géodésie, qui mesure la structure de la surface de la Terre, et notamment son champ de gravitation.

Les trous noirs, une énigme quantique

De la Terre, la physique quantique gagne l'Univers pour s'intéresser au mystère des trous noirs... Un trou noir est un astre tellement dense que sa force gravitationnelle attire toute matière en son centre. L'observation directe des ondes gravitationnelles[1] émises lors de la fusion de trous noirs a depuis peu apporté la preuve que ces objets, malgré leur compacité, émettent des ondes, une découverte récompensée par le dernier prix Nobel de physique. Et la confirmation d'une prédiction d'Einstein émise cent ans auparavant.

Les outils théoriques sont eux aussi largement mis à contribution pour essayer de résoudre l'énigme que représentent les trous noirs : depuis l'établissement d'analogies avec les lois de la thermodynamique, puis grâce à la mise en évidence de l'émission d'un rayonnement par Hawking en 1975, on sait que le refroidissement de la matière engloutie par le trou noir provoque un rayonnement thermique émis depuis l'horizon des évènements, une limite qui entoure la surface du trou noir et l'occulte totalement.

« Production de chaleur signifie agitation de molécules, or il n'y a rien sur cet horizon ! » raconte David Viennot, physicien théoricien à l'Institut UTINAM et enseignant à l'université de Franche-Comté. Le chercheur essaie de déterminer l'origine quantique de cette source de chaleur, dont la théorie puis des arguments indirects issus de l'observation ont bien validé l'existence. Une expérience numérique consiste à simuler la présence d'un qubit (la plus petite unité de stockage d'information quantique) aux abords d'un trou noir, afin de voir si cette information subit une altération à ce contact.

« Il serait nécessaire de combiner les lois de la physique quantique et celles de la relativité générale pour y parvenir, ce qui est impossible, car ces théories ne sont pas compatibles… » Pour contourner cet écueil et élaborer ses calculs, David Viennot adopte une approche semi-classique. La simulation qu'il a réalisée tient compte de la relativité de l'espace-temps et affranchit l'électron d'une partie de ses caractéristiques quantiques, avant de le placer à proximité du trou noir.

La simulation devient possible. Elle montre que le trou noir exerce un effet délétère notable sur l'information portée par l'électron, puis qu'au-delà d'une certaine limite, une sorte de deuxième horizon, son influence diminue considérablement. » L'expérience numérique laisse supposer que la thèse

Le temps, une nature controversée

On ne perçoit pas le temps de la même façon selon qu'on regarde derrière ou devant soi : le passé est fixé, fermé, et le futur est ouvert. L'extinction des dinosaures comme l'opération de l'appendicite qu'on a subie à huit ans sont des évènements sur lesquels on ne reviendra pas, alors que le futur laisse le champ libre à tous les possibles, selon des délais élastiques : devenir ou non un jour grand-père, ou visiter la planète Mars. « Les modèles de la structure temporelle du monde ne reflètent pas cette asymétrie du temps, qui est fondamentalement intuitive », explique Vincent Grandjean, qui prépare une thèse de philosophie sur ce sujet à l'université de Neuchâtel.

Le jeune chercheur souhaite élaborer une théorie qui se placerait entre le présentisme, qui ne considère que l'existence du présent et nie celle du passé comme celle du futur, et l'éternalisme, qui reconnaît indifféremment l'existence du passé, du présent et du futur. « Ma recherche s'oriente vers la description d'un modèle qui s'accorderait avec la réalité de notre perception du temps, et qui pourrait de plus se réconcilier avec le temps tel qu'il est décrit par la physique aujourd'hui.

Depuis que le temps a donné une quatrième dimension à notre monde, s'ajoutant aux trois variables de l'espace, la théorie de la relativité et la physique quantique ont pu se développer et introduire des concepts ignorant le caractère absolu et objectif des notions de présence et de simultanéité pour l'un, prenant un caractère probabiliste pour l'autre, permettant toutes deux de considérer autrement la notion même d'existence. Et de repenser la nature du temps.

Le travail de thèse de Vincent Grandjean s'inscrit dans le projet européen DIAPHORA (*Philosophical problems, Resilience and Persistant Disagreement*) portant sur la théorie de la connaissance. Fort de la collaboration de sept universités et d'un budget de 3,6 millions d'euros, c'est le projet de philosophie le plus ambitieux de ces dernières années en Europe.

à exploiter ici est celle des branes, qui se situe à mi-chemin entre la théorie des cordes et la géométrie non commutative.
De nombreuses théories sont étudiées pour tenter de rendre compatibles la physique quantique et la relativité générale : la « gravité quantique » pourrait expliquer des phénomènes encore obscurs en astrophysique… ou ailleurs.

« L'étude de la problématique des trous noirs aide à comprendre certains aspects de l'outil mathématique, dont elle n'est qu'une application. Cet outil est également utilisé pour des technologies telles que l'informatique quantique ou la résonance magnétique nucléaire. Le maîtriser mieux aidera aussi à la résolution de problématiques industrielles ».

[1] *Cf en direct n° 264, mai-juin 2016*

Quel sens donner à l'interrogation « comprendre la physique quantique » ? Pour les uns il s'agira de saisir ses fondements, pour les autres de connaître ses propriétés pour mieux les exploiter. Au séminaire Épiphymaths, la réflexion poursuit son chemin. « La physique quantique apporte des explications aux forces de la nature que l'on ne peut comprendre autrement », souligne le physicien Daniel Van Labeke. Aucun scientifique ne remet aujourd'hui en question l'influence des lois quantiques sur le monde macroscopique. « On ne peut penser le monde si on ne s'attaque pas à la physique quantique, qui pose un vrai problème à la théorie de la connaissance », remarque le philosophe Joël Garnier. L'ésotérisme, qui récupère le mystère, le vocabulaire et les images de la théorie quantique, reste pour sa part sans fondement scientifique, et n'a pas sa place dans le débat.

Contacts :

Frédéric Holweck - Institut Carnot de Bourgogne / UTBM - Tél. +33 (0)3 84 58 30 00 - frederic.holweck@utbm.fr

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

Eric Lantz / Jean-Marc Merolla - Département d'optique - Institut FEMTO-ST - UFC / ENSMM / UTBM / CNRS
Tél. +33 (0)3 81 66 69 78 / 64 18 - eric.lantz@univ-fcomte.fr / jeanmarc.merolla@univ-fcomte.fr

Rodolphe Boudot / Clément Lacroûte / Marion Delehaye - Département Temps-fréquence
Institut FEMTO-ST - UFC / ENSMM / UTBM / CNRS - Tél. +33 (0)3 81 40 28 56 / 29 22 / 29 59
rodolphe.boudot@femto-st.fr / clément.lacroute@femto-st.fr / marion.delehaye@femto-st.fr

Bruno Bellomo / David Viennot / Ludovic Martin-Gondre - Institut UTINAM - Université de Franche-Comté / CNRS
Tél. +33 (0)3 81 66 69 09 / 69 16 / 64 76 - bruno.bellomo@univ-fcomte.fr / david.viennot@obs-besancon.fr / ludovic.martin@univ-fcomte.fr

Vincent Grandjean - Institut de philosophie - Université de Neuchâtel - Tél. +41 (0) 32 718 18 59 - vincent.grandjean@unine.ch

en direct

Direction de la valorisation - Université de Franche-Comté
Tél.+33 (0)3 81 66 20 95 / 20 88 - endirect@univ-fcomte.fr
http://endirect.univ-fcomte.fr

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

en direct est édité par :

Université de Franche-Comté [1/2]
1, rue C. Goudimel - 25030 Besançon cedex. Président : Jacques Bahi - 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

École nationale supérieure
de mécanique et des microtechniques [1/2]
Chemin de l'Épitaphe - 25030 Besançon cedex
Directeur : Bernard Cretin
Tél. +33 (0)3 81 40 27 00

Université de Neuchâtel [1]
Av. du 1er mars 26 - CH - 2000 Neuchâtel
Recteur : Kilian Stoffel
Tél. +41 (0)32 718 10 20

Haute Ecole Arc [1]
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, bd A. Fleming 25020 Besançon cedex
Directeur : Pascal Morel
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 du Conseil régional de Bourgogne-Franche-Comté et de l'Association **arc**jurassien.ch.
ISSN : 0987-254 X. Dépôt légal : à parution. Commission paritaire de presse : 2262 ADEP.
6 n° par an. Pour s'abonner gratuitement, formulaire en ligne sur http://endirect.univ-fcomte.fr