

# en direct

LE JOURNAL DE LA RECHERCHE ET DU TRANSFERT DE L'ARC JURASSIEN - NUMÉRO 280 - JANVIER - FÉVRIER 2019



**GRAND FORMAT** [ TECHNOLOGIES ]

## AUTOPSIE D'UN SMARTPHONE

**ACTUALITÉS**

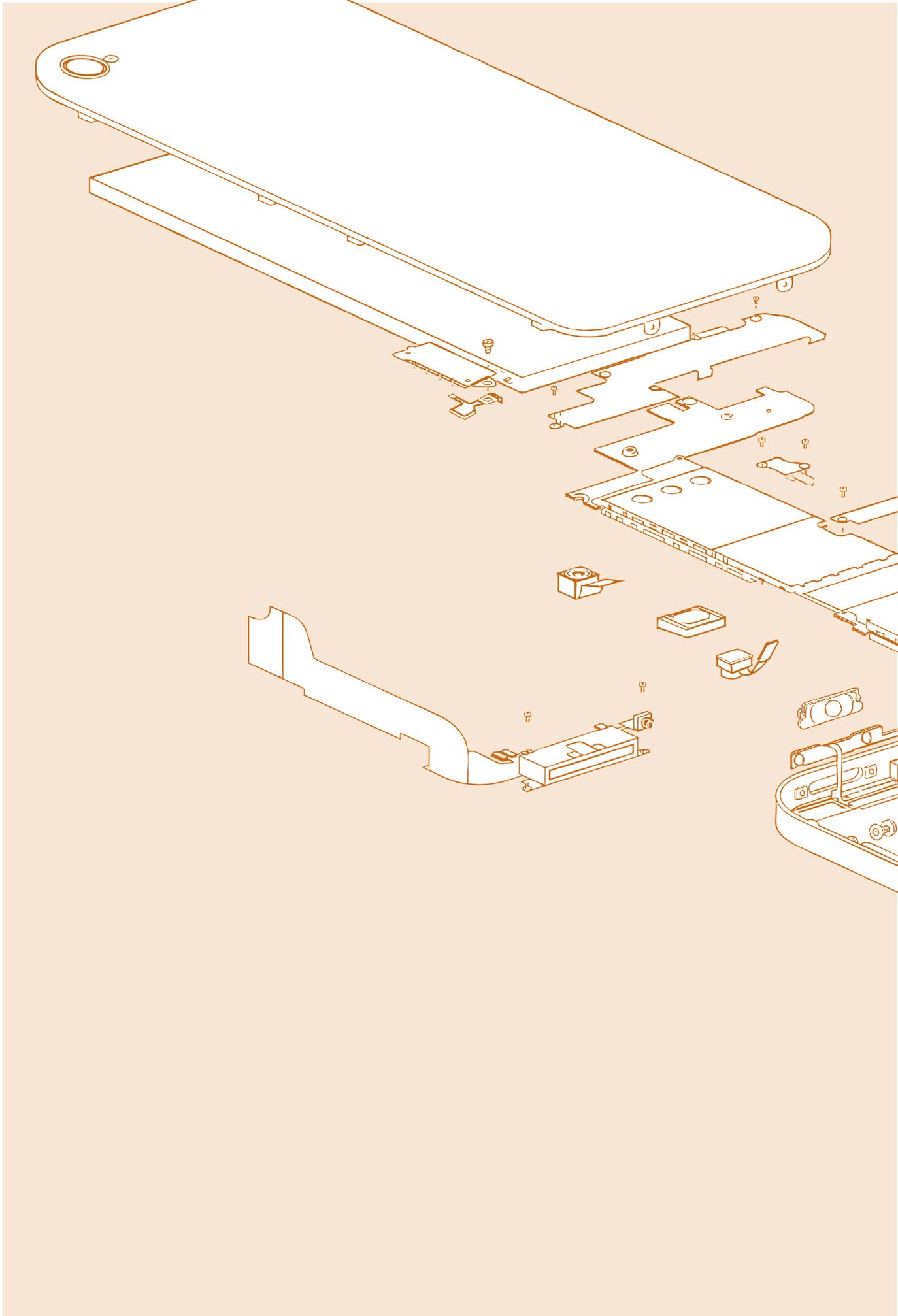
DÉTERMINER SON PROFIL ADN :  
UN JEU ?

**ÉCHANGES** [ DE BONS PROCÉDÉS ]

SOLS POLLUÉS :  
LES SOIGNER PAR LES PLANTES

**TERRE** [ D'OMBRE ET DE LUMIÈRE ]

EMPRISONNEMENTS  
SOUS LE SCEAU DU SECRET



# EN DIRECT

NUMÉRO 280 - JANVIER - FÉVRIER 2019

## 4 | ACTUALITÉS

- Une plateforme nationale pour étudier la fin de vie
- L'ISIFC en extension
- Objets métalliques identifiés
- Déterminer son profil ADN : un jeu ?
- La stature, indicateur de niveau de vie biologique de population
- « La révolution matérielle »
- « Le malade et la décision médicale »

## 10 | ÉCHANGES [ DE BONS PROCÉDÉS ]

Sols pollués : les soigner par les plantes

## 12 | LABORATOIRE [ D'ANALYSES ]

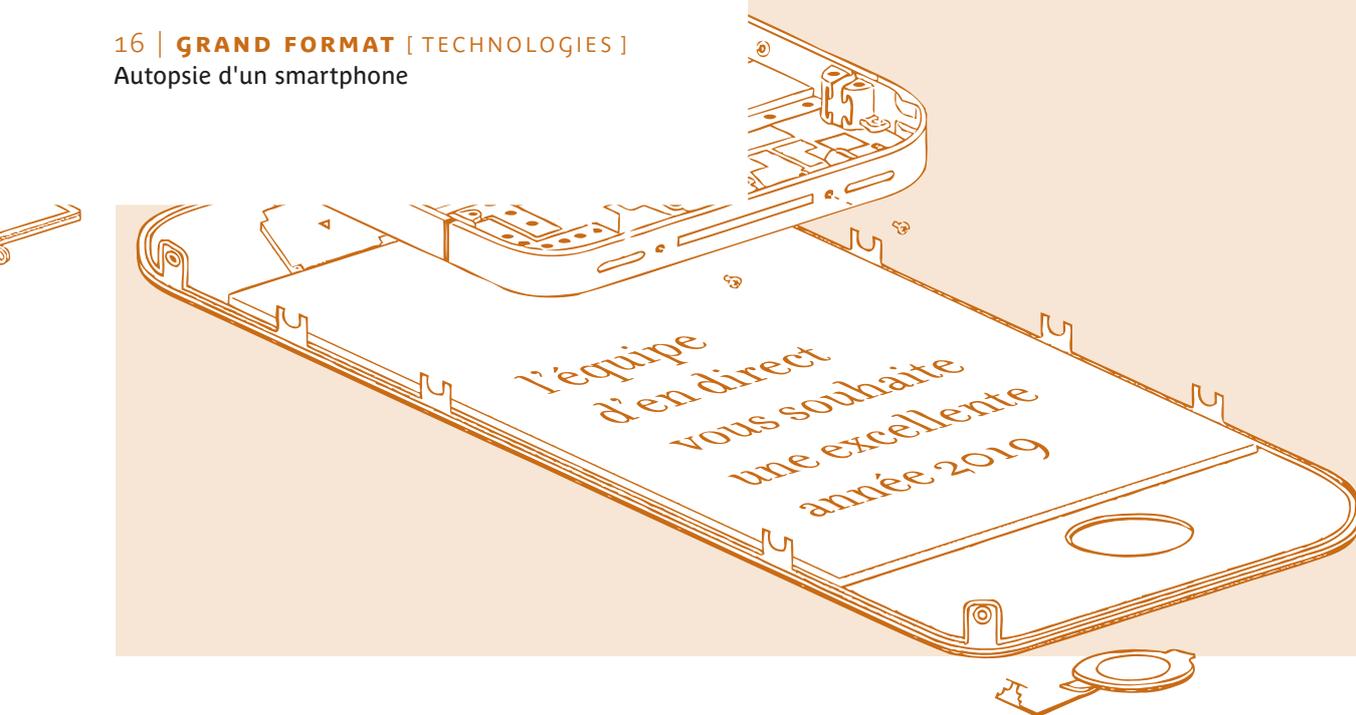
Mouvements de glacier au Spitsberg

## 14 | TERRE [ D'OMBRE ET DE LUMIÈRE ]

Emprisonnements sous le sceau du secret

## 16 | GRAND FORMAT [ TECHNOLOGIES ]

Autopsie d'un smartphone



## SANTÉ PUBLIQUE

## UNE PLATEFORME NATIONALE POUR ÉTUDIER LA FIN DE VIE

Encore fragile en France, la recherche sur la fin de vie a besoin de se développer, de se structurer et d'être valorisée. Ces objectifs ont motivé la création de la Plateforme nationale pour la recherche sur la fin de vie, inaugurée en octobre dernier et établie à Besançon. Elle a été fondée sur l'impulsion de spécialistes de médecine palliative désireux à la fois de mettre en commun le fruit de leurs travaux et de leurs expériences, et d'explorer toutes les facettes d'un sujet dépassant largement la sphère médicale. Ainsi la philosophie, l'économie, la sociologie, la psychologie ont-elles leur contribution à apporter, au même titre que les sciences infirmières ou la gériatrie, et d'autres encore, pour cerner la question dans sa diversité et sa complexité. D'autant que la notion de fin de vie ne se limite pas à l'approche de la mort : elle représente une période, plus ou moins longue, déterminée par ce que les personnes ont à vivre. Malades atteints de cancers ou de pathologies neurodégénératives, personnes âgées animées du sentiment de ne plus exister ou d'avoir perdu toute dignité, personnes en situation de précarité ou de pauvreté frôlant la mort sociale, autant de parcours, autant de définitions personnelles de la fin de vie. Et un champ de recherche immense.

« L'ambition de la plateforme est de favoriser une recherche encore très timide en France, tout en l'orientant vers le concept élargi de la fin de vie », explique Régis Aubry, professeur de médecine

palliative, responsable de pôle autonomie et handicap du CHU de Besançon, et qui partage la présidence de la plateforme avec Patrick Baudry, professeur de sociologie à l'université de Bordeaux Montaigne : une complémentarité disciplinaire affichée, illustrant la volonté d'une large collaboration scientifique.

La plateforme regroupe actuellement près de 70 équipes de recherche, relevant autant des sciences humaines et sociales que des sciences médicales. Elle est financée par le ministère de l'Enseignement supérieur, de

la recherche et de l'innovation, qui en a confié le portage et l'animation à UBFC, par la Direction générale de l'offre de soins (DGOS) et par la Fondation de France. Avec l'intention d'essaimer sur l'ensemble du territoire, la plateforme prévoit d'organiser régulièrement des rencontres régionales : les premières se sont tenues le 19 décembre à la MSH de Dijon.

## Contact :

Plateforme nationale pour la recherche sur la fin de vie

Régis Aubry

Tél. +33 (0)3 63 08 26 93

[plateforme.recherche.findevie@ubfc.fr](mailto:plateforme.recherche.findevie@ubfc.fr)

## GÉNIE BIOMÉDICAL

## L'ISIFC EN EXTENSION

À la croisée des sciences pour l'ingénieur, des sciences de la vie et de la santé, et des sciences juridiques, l'Institut supérieur d'ingénieurs de Franche-Comté (ISIFC) propose des formations dédiées à la conception de dispositifs médicaux<sup>1</sup>. Sa forte attractivité auprès des étudiants et les besoins en compétences des entreprises du domaine motivent son souhait d'augmenter ses capacités d'accueil. Pour atteindre cet objectif, l'école prévoit un agrandissement de ses locaux à Besançon à l'horizon 2022.

<sup>1</sup> Un dispositif médical désigne tout instrument ou équipement utilisé à des fins de diagnostic, de prévention, de contrôle et de traitement d'une maladie ou d'une blessure. Une paire de lunettes, un endoscope, un IRM ou une prothèse de hanche en sont des exemples.

L'ISIFC est une composante à part entière de l'université de Franche-Comté. Créé en 2001, l'institut a aujourd'hui le recul nécessaire pour évaluer son parcours et envisager son avenir. En quinze ans, 579 étudiants y ont décroché leur diplôme d'ingénieur, et 88 % d'entre eux ont obtenu un travail dans une moyenne de deux mois suivant la fin de leurs études : 24% dans des PME et *start-up* de la région, et presque autant dans de grandes structures en Suisse, qui compte plusieurs leaders mondiaux du dispositif médical. Les entreprises sont nombreuses à solliciter les compétences des étudiants : pas moins de 150 offres de stage sont émises chaque année, pour 40 étudiants candidats. Un succès qu'explique Vincent Armbruster, le directeur

de l'ISIFC : « Seulement quelques écoles d'ingénieurs proposent des formations dans ce domaine en France. L'ISIFC présente en outre la particularité d'orienter plus spécifiquement son enseignement vers l'industrie. » L'ISIFC souhaite aujourd'hui répondre à la demande croissante d'un tissu industriel en pleine ébullition et au vœu de candidats toujours plus nombreux à postuler. Le scandale sanitaire des prothèses PIP au début des années 2010, dont l'actualité récente a fait surgir de nouveaux spectres, a motivé une révision de la réglementation européenne relative aux dispositifs médicaux. L'application de la nouvelle loi, votée en 2017, est prévue de manière progressive dans un délai de trois à cinq ans selon les dispositifs concernés, un laps de temps que devront mettre à profit les industriels pour s'adapter. La directive prévoit, entre autres, une augmentation des essais cliniques sur les dispositifs médicaux. Charge aux fabricants de répondre désormais à cette exigence. Du côté de l'ISIFC, on est sereins. Vincent Armbruster souligne que « l'ISIFC est la première école à pousser aussi loin la connaissance des études cliniques au niveau ingénieur, avec des cours dédiés depuis plusieurs années. » De façon globale, enseignements et stages permettent aux étudiants d'être rapidement opérationnels, et de pouvoir échanger avec un industriel aussi bien qu'avec un médecin. Grâce à la future extension de ses locaux, l'ISIFC envisage, entre autres, de recruter 70 ou 75 étudiants par promotion, contre 50 actuellement. Pas plus, car l'école tient à conserver sa philosophie de proximité

## DIPLÔMES D'UNIVERSITÉ POUR INDUSTRIELS MOTIVÉS

Stimulées par une nécessaire montée en compétence, les entreprises du secteur du dispositif médical sont amenées non seulement à embaucher davantage d'ingénieurs spécialisés, mais aussi à proposer de nouvelles formations à leurs collaborateurs en interne. C'est pour répondre à ce besoin que l'ISIFC ouvre cette année deux diplômes d'université (DU) à destination des fabricants, sous-traitants et consultants : affaires réglementaires et affaires cliniques. D'une durée respective de 56 et 33,5 heures, les formations sont concentrées sur quelques jours d'affilée, en janvier et février pour les premières sessions. La création de ces DU intervient dans le prolongement de la *Rentrée du dispositif médical*, une journée de formation et d'échange organisée à l'initiative de l'ISIFC, qui chaque année réunit plus de 150 industriels de toute la France autour des dernières actualités du domaine.



Les locaux de l'Institut supérieur d'ingénieurs de Franche-Comté (ISIFC) à Besançon

et de convivialité. Le projet s'inscrit dans le cadre du contrat métropolitain signé entre la Région Bourgogne - Franche-Comté et le Grand Besançon, prévoyant l'accompagnement de projets structurants sur ce secteur. Également financée par l'université de Franche-Comté, l'extension de l'ISIFC représente un budget global de 5 millions d'euros, et devrait être réalisée en 2022.

Contact : ISIFC  
Vincent Armbruster  
Tél. +33 (0)3 81 66 66 90  
vincent.armbruster@univ-fcomte.fr

## PLATEFORME MICORR

## OBJETS MÉTALLIQUES IDENTIFIÉS

Dix ans de travaux et de recueil de données en conservation-restauration, puis une collaboration avec des spécialistes de l'informatique de gestion aboutissent aujourd'hui à la création de la plateforme MiCorr à la Haute Ecole Arc.

le matériau dont il est constitué : sa conservation ou son exposition dans des conditions inhabituelles peuvent générer une corrosion atypique. »

Des années d'observation des formes de corrosion, de leur transcription sous la forme de

stratigraphies schématiques illustrées et de revue de la littérature ont amené non seulement à une vaste connaissance, mais aussi au développement de méthodologies innovantes au service du diagnostic. Le traitement numérique de cette somme de savoirs aboutit à la création d'un outil fiable et performant, comportant pas moins d'une

cinquantaine de modèles de corrosion où dominent le cuivre et le fer.

## DESSIN NUMÉRISÉ POUR SERVIR DE MODÈLE

À l'Institut de digitalisation des organisations, Cédric Gaspoz et son équipe ont assuré le transfert de données manuscrites et de croquis des structures de corrosion vers la machine. « À partir de la saisie des caractéristiques d'un objet et de 500 attributs de reconnaissance des strates de corrosion, déterminés au

préalable et enregistrés dans la base de données, l'utilisateur de MiCorr crée une représentation stratigraphique de l'objet observé conforme à la réalité. Le résultat visuel obtenu est analogue à ce qui serait observé au microscope. »

L'application peut ensuite proposer, *via* un algorithme de comparaison, des modèles de corrosion considérés comme proches de celui correspondant à l'objet observé. Enfin, et pour affiner encore le diagnostic, elle peut effectuer une recherche sémantique par l'insertion de mots-clés.

Opérationnelle, la plateforme devrait à l'avenir prendre une forme participative : la communauté scientifique pourra l'implémenter de nouvelles connaissances aboutissant à la création de modèles numériques supplémentaires. Un projet Interreg, déposé avec l'UTBM et son Laboratoire métallurgies et cultures (LMC), sera bientôt soumis. Il prévoit une optimisation de la plateforme avec un niveau de renseignement plus fin encore ; il envisage également sa déclinaison dans une application mobile afin d'établir des diagnostics sur le terrain, pour des éléments d'architecture ou des objets impossibles à déplacer.



© Marie-Jeanne Scholl - HE Arc Conservation-Restauration

Détail de la surface d'une situle (vase de cérémonie), sanctuaire de Mormont, La Tène D (140-30 avant J.-C.), La Sarraz, Vaud, Suisse.

Une plateforme permettant d'établir un diagnostic d'altération d'artefacts métalliques, accessible à tous sur le net. L'ambition est de comprendre le matériau qui se dissimule sous la corrosion qui le recouvre, et de prévoir les solutions les plus adaptées pour assurer la pérennité de l'objet tout en préservant sa valeur patrimoniale. « Dans notre domaine, la déontologie interdit d'opérer des prélèvements sur un objet », explique Christian Degriigny, enseignant-chercheur en conservation-restauration, et administrateur de la plateforme. « Il nous faut donc imaginer son histoire pour mieux comprendre

Contacts :  
Haute Ecole Arc  
Conservation - restauration  
Christian Degriigny  
Tél. +41 (0)32 930 19 38  
christian.degriigny@he-arc.ch

Institut de digitalisation  
des organisations  
Haute Ecole Arc Gestion  
Cédric Gaspoz  
Tél. +41 (0)32 930 20 88  
cedric.gaspoz@he-arc.ch

## GÉNÉTIQUE RÉCRÉATIVE

DÉTERMINER  
SON PROFIL ADN, UN JEU ?

Est-il inscrit dans vos gènes que vous avez du talent pour la musique ? Connaître votre profil ADN vous aiderait-il à perdre du poids ? Et si vos ancêtres étaient écossais et pas russes ? Censée dévoiler une part de nos mystères, la génétique récréative concerne tout ce qui a trait à l'ADN, sans visée médicale. Elle amuse, pique la curiosité, et ses adeptes ne boudent pas leur plaisir. Ils sont des millions aux États-Unis à interroger leur génome par l'intermédiaire de sociétés spécialisées, une démarche impossible en France ou en Suisse, où les tests génétiques récréatifs sont actuellement interdits par la loi. Il est cependant très facile d'en réaliser par le biais d'internet, et il suffit d'un prélèvement de salive pour en apprendre long sur sa lignée. C'est du moins ce que vantent les entreprises spécialisées dans ce domaine. Cependant, les scientifiques mettent en garde contre des méthodes pas toujours rigoureuses et des résultats à la fiabilité discutable ; ils pointent aussi le doigt sur l'usage qui peut, ou pourrait être fait à l'avenir, de données personnelles bien moins anodines qu'on pourrait le croire. Les multiples questions que soulève la pratique de la génétique récréative étaient au cœur d'un café scientifique<sup>1</sup> organisé en novembre dernier à l'université de Neuchâtel et animé par des spécialistes du droit en Suisse, au moment où la loi sur l'analyse génétique humaine (LAGH) fait l'objet d'une importante révision dans ce pays. Une loi s'efforçant de suivre une évolution marquée par de grands

progrès technologiques. Aux débuts des premières analyses génétiques, le séquençage complet du génome humain a représenté un investissement de l'ordre de trois milliards de dollars. Aujourd'hui mille euros sont suffisants pour obtenir un génome entier. Les offres de tests à un prix tout à fait abordable se multiplient sur la toile et font même l'objet de promotions alléchantes lors du Black Friday ! Un *business model* aux arguments marketing très convaincants...

**BUSINESS MODEL  
INTERNATIONAL**

Le caractère un peu poudre aux yeux et apparemment inoffensif des résultats ne doit cependant pas masquer un enjeu plus important, celui de l'utilisation des données à d'autres fins que des recherches

ludiques et personnelles. Les données peuvent intéresser la police (génétique forensique), les assurances, les firmes pharmaceutiques ou encore les entreprises qui veulent atteindre le marché de la médecine personnalisée, des développements laissant craindre certaines dérives ou discriminations. La législation actuelle est très attentive et protège le droit des personnes.

<sup>1</sup> « Génétique récréative : un plaisir payant ? »  
Café scientifique du 21 novembre 2018, avec Vincent Castella, généticien forensique, Centre universitaire romand de médecine légale ; Frédéric Erard, avocat, assistant-doctorant spécialisé dans le secret médical, université de Neuchâtel ; Peter Forster, juriste, division droit, Office fédéral de la santé publique ; Dominique Sprumont, président de la Commission vaudoise d'éthique de la recherche sur l'être humain, directeur adjoint de l'Institut du droit de la santé, université de Neuchâtel.



Photo by Val Vespa on Unsplash

Mais elle est impuissante à contrer les effets de la transnationalité d'un phénomène et d'un business en plein essor. Une loi à l'échelle européenne permettrait-elle d'en garder un tant soit peu la maîtrise ? Qui peut dire comment vont évoluer les législations et si les données seront toujours protégées dans dix ou vingt ans ? Les scientifiques rappellent

que les informations provenant du génome ont une durée de vie bien supérieure à celle d'un humain. Preuve en est la détection de gènes de l'homme de Neandertal jusque dans les génomes contemporains. Ils avancent un chiffre également révélateur, résultat d'une étude scientifique parue dans *Science* : Si 2 % de la population passait un test génétique, on aurait accès à

l'ensemble de la population. Car si le génome nous est propre, on en partage les caractéristiques avec notre famille et toutes ses ramifications, et cela à très long terme.

Contact :  
Institut du droit de la santé  
Université de Neuchâtel  
Dominique Sprumont  
Tél. +41 (0)32 718 12 96  
dominique.sprumont@unine.ch

## HISTOIRE ANTHROPOMÉTRIQUE

# LA STATURE, INDICATEUR DU NIVEAU DE VIE BIOLOGIQUE DE POPULATION

Très récente puisqu'elle se développe au cours des années 1970, alors que la question de la situation nutritionnelle prend de l'importance, l'histoire anthropométrique est une discipline largement développée et mise en avant par Laurent Heyberger, enseignant en histoire à l'UTBM et chercheur à l'Institut FEMTO-ST (RECITS). Elle étudie la stature des populations, qui se révèle être caractéristique des niveaux de vie biologiques d'un pays. « De nombreuses recherches scientifiques ont établi de façon indiscutable que l'absorption

nette de nourriture a une influence capitale sur la taille moyenne d'une population », explique l'historien. Ainsi les méthodes de l'histoire anthropométrique ont-elles été utilisées aux États-Unis « pour explorer des problèmes nés du débat sur le niveau de vie des esclaves », ou encore dans les pays du Sud « pour évaluer un niveau nutritionnel adéquat ». Laurent Heyberger a quant à lui recours à ces méthodes pour aider à caractériser le niveau de vie des populations dans les colonies françaises aux XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles, notamment en Algérie. Il met en relation cette estimation,

établie aussi bien pour les populations indigènes que pour les colons, avec les processus de modernisation alors en cours. « Les apports de l'histoire anthropométrique aident à mieux cerner des questions qui depuis longtemps font débat et ne sont toujours pas réglées. » Ainsi, et à titre d'exemple : « L'évolution de la stature des Européens d'Algérie décline dans la décennie de naissance 1880, un constat que l'on peut attribuer aux conséquences néfastes de l'urbanisation trop rapide du pays à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. » Les travaux de Laurent Heyberger ont fait l'objet d'une présentation dans le cadre des 8<sup>e</sup> journées d'histoire industrielle, consacrées cette année à la thématique de l'industrialisation aux colonies, encore très peu explorée par les historiens et les économistes. Ces journées étaient organisées en novembre dernier par le CRESAT de l'université de Haute Alsace et l'axe de recherche transverse RECITS de l'Institut FEMTO-ST.



Le port d'Oran, Algérie

Contact :  
Institut FEMTO-ST - RECITS  
UFC / ENSMM / UTBM / CNRS  
Laurent Heyberger  
Tél. +33 (0)3 84 58 38 19  
laurent.heyberger@utbm.fr

## PUBLICATION

## « LA RÉVOLUTION MATÉRIELLE »

Empruntant à l'économie, au domaine social et à la sphère culturelle, l'histoire de *La révolution matérielle* est celle de la consommation.

Une épopée couvrant les XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles, émaillée d'exemples et d'anecdotes, que l'ouvrage retrace à l'aide d'objets symboliques tels que la bicyclette, la voiture, la télévision ou encore la minijupe. S'attachant à explorer les

représentations liées à ces produits, les motivations d'achat, l'incidence des niveaux de vie, les pratiques et les comportements, l'historien Jean-Claude Daumas élabore une frise chronologique de la consommation. De 1840 à 1880, luxe et nécessité s'opposent en deux types de consommation



radicalement incompatibles. Puis l'augmentation du niveau de vie des ouvriers et de la classe moyenne débouche sur la « Belle Époque de la consommation », qui de 1885 à 1914 voit les extrêmes se gommer et la consommation toucher tous les groupes sociaux. L'entre-deux guerres impose un blocage au passage à la consommation de masse, un contretemps rattrapé à partir des années 1950 avec les Trente Glorieuses. Depuis les années 1970,

l'écart entre classes sociales se creuse, la précarité s'installe, et la consommation prend un aspect de plus en plus hétérogène, à l'image de la société. La réflexion engagée autour du thème du développement durable et de la consommation responsable représente un contexte inédit. Quelle tournure va prendre

l'histoire ? Jean-Claude Daumas propose des interprétations et des ébauches de projections à partir de l'étude de 1300 documents, enquêtes statistiques, articles de presse, ouvrages spécialisés, photos, romans aussi : *Les petites filles modèles* de la Comtesse de Ségur comme *Au bonheur des Dames* de Zola apportent chacun leur témoignage sociologique. Des marchands spécialisés en « vins et charbons » aux soldes privées sur internet, en passant par l'avènement des hypermarchés, de l'Ami 6 de l'ouvrier à la DS des patrons dans les années 1960, de l'habitude, prise au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, de « faire durer les objets », au culte du modernisme apparu quinze ans plus tard, c'est toute la diversité, la complexité et l'évolution de la consommation, et donc de la société, que cet ouvrage retrace.

Daumas J.-C., *La révolution matérielle - Une histoire de la consommation (France, XIXe-XXIe siècle)*, Flammarion, 2018

## PUBLICATION

## « LE MALADE ET LA DÉCISION MÉDICALE »

Un accès à la connaissance facilité, des associations de patients dynamiques, et le cas particulier que représente le SIDA dans le paysage médical et la société des années 1980 sont autant de paramètres à l'origine d'une nouvelle relation entre le malade et la maladie, entre le malade et le médecin. Le patient devient acteur de sa santé et de la prise en charge de sa maladie, et la « relation de sujétion » qui le liait au monde médical se transforme peu à peu en « relation contractuelle ». Depuis le début du XXI<sup>e</sup> siècle, ce bouleversement exceptionnel s'impose comme une évolution de

société majeure et s'inscrit dans le droit, notamment grâce à la loi Kouchner du 4 mars 2002 et à sa révision, datant de 2016. Si ce nouveau modèle évoque d'emblée les questionnements épineux liés à la fin de vie, au suicide assisté ou à l'euthanasie, il implique de manière plus générale une réflexion sur la réalité de la participation du malade à la décision médicale. Cette réflexion complexe, intégrant des notions juridiques, éthiques, philosophiques, est au cœur de l'ouvrage collectif *Le malade et la décision médicale*. Consentement, autonomie, vulnérabilité, responsabilité, droits et devoirs...

ces mots-clés sous-tendent les observations des auteurs, qui, forts de leur expérience de chercheurs comme de praticiens, soulignent les obstacles rencontrés et identifient les limites posées à un réel investissement du malade dans la décision médicale. Regroupant les contributions de juristes, médecins, sociologues, philosophes et psychologues, l'ouvrage est placé sous la maîtrise d'œuvre de Thierry Martin, chercheur au laboratoire de philosophie Logiques de l'agir de l'université de Franche-Comté.

Martin T. (sous la direction de), *Le malade et la décision médicale - Fragilité du consentement et de l'autonomie*, PUFC, 2018



Assurer le développement des végétaux grâce à l'action des micro-organismes, et inversement, tel est l'un des processus adoptés en matière de phytomanagement pour redonner vie aux sols pollués. Un combat patient et prometteur que mènent des chercheurs du laboratoire Chrono-environnement, sur le terrain comme sur les paillasse.

ÉCHANGES [DE BONS PROCÉDÉS]

# SOLS POLLUÉS : LES SOIGNER PAR LES PLANTES

Improperes aux  
productions  
destinées à la  
consommation  
humaine, ces  
surfaces n'en  
restent pas moins  
susceptibles d'être  
exploitées

Mines, forges, hauts-fourneaux..., les sites d'extraction, de production et de transformation des métaux, notamment pendant la Révolution industrielle, sont une source historique de pollution des sols. D'autres activités, contemporaines, figurent aussi au banc des accusés. Désormais et pour très longtemps impropres aux productions destinées à la consommation humaine, ces surfaces n'en restent pas moins susceptibles d'être exploitées et de se rendre à nouveau utiles. À condition de se refaire une santé.

## LE PHYTOMANAGEMENT POUR REDONNER VIE AUX SOLS

Réhabiliter les sols pollués est une mission que se sont fixés Michel Chalot et ses collaborateurs à Chrono-

environnement. Un laboratoire pionnier en France pour l'étude et l'évaluation, par des outils innovants, du lien entre biodiversité des micro-organismes et pollution des sols. Michel Chalot est enseignant-chercheur en physiologie végétale et microbiologie. Il explique l'intérêt du concept de phytomanagement. « La dépollution des sols contaminés par les métaux reste extrêmement difficile, bien plus que celle des milieux aquatiques, même si cette piste continue à être explorée par la recherche. En revanche, exploiter des parcelles contaminées pour leur redonner une fonction de production n'est plus une utopie : c'est tout l'objet du phytomanagement, qui représente une solution accessible et efficace pour restaurer à faible coût des sols pollués. » L'apport de micro-organismes dans le sol est un excellent moyen de pallier le déficit de biodiversité responsable de l'appauvrissement des terrains. Dans cet objectif,

les chercheurs de Chrono-environnement étudient les micro-organismes les plus aptes à stimuler la production végétale. Dans un article publié en septembre dernier dans le journal de référence *Frontiers in Microbiology*, les chercheurs identifient deux genres bactériens, *Phyllobacterium* et *Streptomyces* sp., comme les plus aptes, parmi 275 bactéries sélectionnées au départ, à aider à la restauration d'une décharge de gypse rouge résultant de l'extraction industrielle du titane.

## DES ÉCHANGES GAGNANT-GAGNANT

L'objectif est de produire en masse, dans des fermenteurs de laboratoire, les micro-

vertueux : les végétaux ont besoin des micro-organismes pour se développer, et les micro-organismes prolifèrent en présence des végétaux. Michel Chalot note que dans ce processus, « la vie microbienne est plus importante au niveau des racines des végétaux, et surtout des arbres, dont les micro-organismes ont particulièrement besoin pour se développer. On en dénombre ici cent fois plus qu'ailleurs. » Or c'est aussi dans les racines, et justement grâce à l'action microbienne, que se fixent les métaux, évitant ainsi une dispersion de la pollution dans l'eau du sous-sol. Et des végétaux en abondance signifient également la fixation de CO<sub>2</sub> et la capture du carbone dans les sols, des processus essentiels dans la lutte contre

le réchauffement climatique. Toutes ces interactions génèrent un processus de phytostabilisation nécessaire à la résilience des sols pollués. Reprenant vie, ceux-ci ont alors la capacité de faire croître des

L'apport de micro-organismes dans le sol est un excellent moyen de lutter contre l'appauvrissement des terrains



Parcelle expérimentale de Pierrelaye (95)

organismes sélectionnés, qui sont ensuite réintroduits dans les sols par colonies entières. « Nous avons démontré sur trois parcelles expérimentales contaminées par les métaux que la production de biomasses de peupliers, a, grâce à l'apport de micro-organismes, augmenté de 20 à 25 % en cinq ans. » Il s'enclenche un cercle

végétaux à l'origine, par exemple, de la production de fibres pour l'industrie des biomatériaux ou de matières premières pour la filière bois-énergie. C'est le moyen d'épargner les sols agricoles, à réserver aux produits destinés à la consommation humaine, en même temps qu'un bénéfice avéré pour l'environnement.

Contact :  
Laboratoire Chrono-environnement  
UFC / CNRS  
Michel Chalot - Tél. +33 (0)3 81 99 46 76  
michel.chalot@univ-fcomte.fr

Posé dans l'océan Arctique au nord de la Scandinavie, l'archipel du Svalbard, et l'île du Spitsberg plus précisément, abrite la base scientifique française Jean Corbel. Les chercheurs du laboratoire ThéMA y séjournent régulièrement et depuis des années pour établir le bilan de masse glaciaire de l'Austre Lovénbreen et en tirer des projections sur les effets du réchauffement climatique.



© Florian Tolle

LABORATOIRE [D'ANALYSES]

## MOUVEMENTS DE GLACIER AU SPITSBERG

« Ici comme ailleurs, les glaciers essaient de survivre dans un climat qui ne leur correspond plus »

Chapka, piolet, radio, téléphone satellite et... fusil, ça c'est pour parer à toute rencontre inopinée avec un ours : l'équipement ne laisse rien au hasard. C'est donc

harnachés de plusieurs kilos de matériel, et pour trois quarts d'heure de marche, que les chercheurs de la base Jean Corbel, sur l'île norvégienne du Spitsberg, partent à la rencontre du glacier Austre Lovén, à 79 degrés de latitude nord. Des rendez-vous programmés deux fois par an, en avril/mai, juste avant la fonte du manteau neigeux, puis en septembre, le 30 de ce mois correspondant à

la fin de l'année hydrologique de mesure. Des missions de deux à trois semaines, avec chacune son lot d'anecdotes, le jour où un ours a laissé ses empreintes sur les carreaux d'un des baraquements, à deux mètres de hauteur, celui (ou plutôt ceux) où les brosses à dents

ont gelé dans les verres, celui où il a fallu préparer un repas pour Ségolène Royal, alors ministre de l'Environnement, et pour son staff, lors d'une visite officielle.

Spécialiste de géographie physique, de glaciologie et de nivologie, Florian Tolle ne compte pas moins de dix-huit missions à son actif. Une expérience de terrain qu'il relaie auprès de ses étudiants à l'université de Franche-Comté. « Mon témoignage est une manière forte d'aborder avec eux les problématiques environnementales et climatiques. Ce que nous apprenons d'un point précis, le Spitsberg, peut servir de base à des projections plus vastes en termes d'espace et de temps. » Place ici à des considérations sérieuses. Florian Tolle ne cache pas que les bilans de masse glaciaire, qui témoignent de l'état de santé du glacier, continuent à se dégrader. « Ici comme ailleurs, les glaciers essaient de survivre dans un climat qui ne leur correspond plus. » Le glaciologue note que, si l'ensemble des glaciers du

globe reculent, le phénomène est amplifié en Arctique, où la combinaison des circulations atmosphérique et océanique multiplie par deux ou trois les effets du changement climatique. « Les glaciers sont des sentinelles du climat, qui nous donnent un aperçu de ce qui est partout à venir. L'enregistrement des signes de leur évolution est très utile pour élaborer des projections à grande échelle. »

## GLACIER ULTRASENSIBLE

Le glacier Austre Lovén perd en moyenne 1 % de sa masse totale en une année. Depuis trois ans, l'hiver très doux, avec des températures de 5 à 10°C au-dessus de la normale, provoque de fortes pluies en lieu et place des précipitations neigeuses susceptibles de se transformer en glace en amont du glacier. La fonte estivale se produit surtout en aval, et c'est la mesure de la différence entre les deux qui indique le bilan de masse glaciaire. La température moyenne de la région sur l'année est de -5°C, une clémence relative due à sa situation océanique. Les minima sont de l'ordre de -25 à -30°C, et en été les températures peuvent atteindre 12 à 14°C.

« Dans un tel contexte, les glaciers sont d'une sensibilité exacerbée aux variations de climat. » Tout peut changer très vite, il suffit par exemple d'une grosse tempête de neige pour limiter les dégâts d'une mauvaise année. Pourtant les tendances sont très claires, et ne font pas pencher la balance du bon côté.

La partie centrale du glacier est aussi la plus épaisse : 140 mètres. Les relevés, systématiques depuis onze ans, indiquent jusqu'à 3,50 m de perte d'épaisseur de glace en un an. Balises fichées dans la glace, radars, appareils photo automatiques ou encore drones, comme celui récemment financé par la Région Bourgogne -

## 50 ANS EN PRISE DIRECTE AVEC L'ARCTIQUE

Île du Spitsberg, la plus grande de l'archipel norvégien du Svalbard. Les baraquements de la base de recherche émergent de l'immensité arctique à 5 km de Ny-Ålesund, localité la plus au nord de la Terre, ancien village minier désormais exclusivement fréquenté par des scientifiques en mission venus du monde entier. Fondée en 1963 par l'explorateur français Jean Corbel qui lui a donné son nom, la base est aujourd'hui gérée par l'Institut polaire Paul Émile Victor (IPEV). Les chercheurs du laboratoire ThéMA, secondés par des ingénieurs de l'Institut FEMTO-ST, y sont présents depuis la fin des années 1970. Les équipes successivement menées par Daniel Joly, Thierry Brossard et Madeleine Griselin ont accumulé, au fil d'un demi-siècle de travaux, des données inestimables sur l'évolution du glacier Austre Lovén : les relevés de terrain fournissent des éléments de connaissance que ne sauraient produire seules des observations effectuées par exemple par satellite, et leur longue antériorité fonde leur rareté.



Baraquements de la base scientifique Jean Corbel au Spitsberg

Franche-Comté pour établir des topographies de surface : les instruments et les techniques sont nombreux à traquer des informations qui alimenteront la base de données mondiale du World Glacier Monitoring Service (WGMS).

Au-delà du bilan et des comparaisons produites, les glaciologues tentent de déterminer les facteurs responsables des phénomènes observés ; leur influence peut être variable d'une année à l'autre. Outre les classiques, épaisseur

et densité du manteau neigeux, précipitations, températures, succession des événements climatiques..., ils collaborent avec des collègues français et étrangers afin d'intégrer d'autres paramètres comme la salinité et la turbidité de l'eau ou encore la morphologie sous-marine, dans des projets de recherche partagés avec des spécialistes de l'environnement côtier. Actuellement, les chercheurs bisontins sont parmi les rares scientifiques français à travailler sur les glaciers polaires.

Contact :  
ThéMA - UFC / UB / CNRS  
Florian Tolle - Tél. +33 (0)3 81 66 59 54 - [florian.tolle@univ-fcomte.fr](mailto:florian.tolle@univ-fcomte.fr)



En Franche-Comté comme ailleurs sous l'Ancien Régime, les lettres de cachet expédiaient dans les geôles du royaume nombre de sujets, sans protestation ni défense possibles. Devenues symboliques des abus de pouvoir de l'époque, elles sont pourtant avant tout le fait des familles. Un éclairage apporté par de riches archives franc-comtoises, mises au jour dans l'ouvrage *Le roi et le déshonneur des familles*.

TERRE [D'OMBRE ET DE LUMIERE]

## EMPRISONNEMENTS SOUS LE SCEAU DU SECRET

La lettre de cachet,  
expression de  
la justice rendue  
directement  
par le roi, est  
un moyen d'éviter  
l'infamie  
et le scandale  
d'un procès

« Par ordre du Roy... » L'entrée en matière devait faire frémir dans les chaumières... Car la suite était souvent dramatique pour celui ou celle à qui la missive s'adressait : enfermement dans une prison

ou une maison de force, à durée indéterminée, sans qu'il soit possible d'avancer le moindre argument de défense ou de protestation.

La lettre de cachet a ainsi fait condamner de façon expéditive des hommes, des femmes, des bourgeois, des notables, des « petites gens » par milliers jusqu'à la Révolution française.

Le terme « lettre de cachet » apparaît en 1560, et le recours à cette procédure secrète se

généralise sous le règne de Louis XIV, pendant la seconde moitié du XVII<sup>e</sup> siècle. Son emploi ne cesse de se développer au cours du XVIII<sup>e</sup> siècle, au point de rendre banale une procédure à l'origine extraordinaire. Son

usage abusif finit par le rendre ingérable pour l'administration du roi, qui en limite le recours. Jugée arbitraire par ses opposants, cette procédure est odieuse aux yeux de la Révolution, qui l'enterre définitivement au nom des excès de pouvoir de la royauté qu'elle symbolise. La lettre de cachet a vécu.

### PRÉSERVER L'HONNEUR

Jeanne-Marie Jandeaux suit ses pérégrinations dans la Comté d'alors. Elle en fait le sujet de sa thèse, soutenue en 2008 à l'École des chartes, dont un ouvrage a été tiré sous le titre *Le roi et le déshonneur des familles*. Archiviste paléographe, docteur en histoire moderne, et depuis un an directrice du service commun de documentation (SCD) de l'université de Franche-Comté, Jeanne-Marie Jandeaux raconte la richesse et la qualité des sources franc-comtoises : pas moins de 350 dossiers, souvent très complets, servent de base à ses recherches.

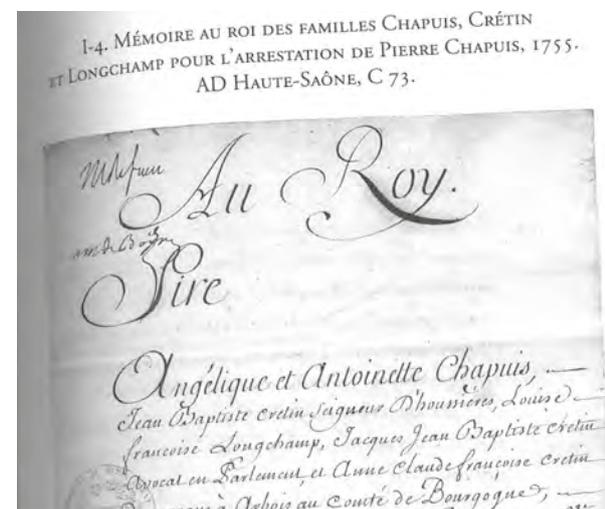
« Ces dossiers permettent de retracer la procédure d'enfermement pour correction familiale en France, qui n'avait été que très peu étudiée par les historiens, et qui est une mine pour aborder l'Ancien Régime, son histoire sociale, carcérale, l'histoire de ses institutions... » Car la lettre de cachet porte en général un ordre d'enfermement. Les raisons ? Affaires d'État, de police, de discipline militaire ou religieuse, et avant tout, affaires de famille. « 80 à 90 % des lettres de cachet de la seconde moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle sont délivrées au nom de l'intérêt des familles, et à leur demande. » Des pratiques motivées par la volonté de préserver l'honneur. « L'honneur, un bien plus précieux que la vie chez les élites, et une valeur que toutes les catégories sociales partagent ». Il s'agissait de mettre à l'écart un fils désireux de se marier avec une femme de condition inférieure, un frère dilapidant sa fortune au jeu ou une bonne risquant de compromettre la réputation de son employeur. L'amour et l'argent sont les piliers principaux qui portent les intrigues. Les fils sont, et de loin, les premières victimes des accusations, suivis par les épouses et les filles. L'autorité du père et du mari est toute puissante ; plus sévère que celui d'autres provinces, le droit comtois place le fils sous l'autorité du père même après son mariage. « Jean-Baptiste Cautenet est âgé de trente ans en 1784 quand son père, Jean-Pierre Cautenet, chirurgien à Vesoul et sa mère, Jeanne-Françoise Brissaut, émettent le souhait de le voir détenu dans les prisons de Besançon. L'élue de son cœur Madeleine Liard est à leurs yeux une « fille prostituée », accusation fort courante (et le plus souvent calomnieuse) dans ce genre de conflit. »

## LE ROI EMPÊTRÉ DANS LES HISTOIRES DE FAMILLE DE SES SUJETS

La lettre de cachet est l'ultime expression du pouvoir patriarcal, relais de la puissance de l'État et de celle de l'Église au sein de la famille. En ce sens, elle est un instrument garantissant le respect de l'ordre et de la hiérarchie dans la société. Cependant, les demandes sont scrupuleusement étudiées par l'administration avant qu'une suite favorable leur soit donnée. Ainsi, en 1756, l'intendant oppose-t-il un refus à une demande de lettre de cachet formulée par un père à l'encontre de son fils : « Le sieur Amyot est encore dans un âge où l'autorité de son père peut le ramener à ses devoirs, et je ne crois pas qu'il ait donné jusqu'à présent dans des écarts qui puissent vous déterminer à faire intervenir l'autorité du roi. » La lettre de cachet, expression de la justice rendue directement par le monarque, est un moyen de se substituer à la justice déléguée aux juges, par souci d'éviter l'infamie et le scandale d'un procès. Là encore, toutes les demandes ne sont pas suivies : « Louis Dargent, par exemple, orfèvre à Gray, a plus de soixante ans en 1780 lorsque ses parents se décident à solliciter une lettre de cachet pour ivrognerie et écrits diffamatoires, après une vie ponctuée de délits en tous genres [...]. Le roi refuse pourtant la lettre de cachet à sa famille et renvoie cette dernière vers les tribunaux ordinaires [...] ». Jeux d'influence, naissance des conflits, motifs d'accusation, conditions et lieux de détention des « correctionnaires » : des origines au déclin d'un instrument de justice royale pour le moins controversé, le propos est étayé de façon passionnante par de nombreuses citations issues des documents d'archive.

Les descriptions du système se doublent d'une analyse des enjeux politiques et du fonctionnement de la société sous-jacents.

L'existence des lettres de cachet montre les failles et les fragilités de la gouvernance sous l'Ancien Régime ; elle met au jour une vérité familiale criante et des rapports de force violents, avec d'un côté la défense de l'intérêt collectif de la famille, incarnée par le père, de l'autre l'affirmation d'aspirations individuelles, que représente le fils.



Cependant, alors que le pouvoir royal s'enlise dans des procédures triviales qui finissent par le discréditer, l'individu, exprimant ses doléances, gagne en reconnaissance et affirme sa place dans la société. Avec le recul, la lettre de cachet apparaît comme une expérience annonçant l'avènement de l'État providence et de politiques sociales qui auront cours aux siècles suivants en France.

Jandeaux J.-M., *Le roi et le déshonneur des familles. Les lettres de cachet pour affaires de famille en Franche-Comté au XVIII<sup>e</sup> siècle*, éditions École nationale des chartes, 2017.

Contact :  
SCD - Université de Franche-Comté  
Jeanne-Marie Jandeaux  
Tél. +33 (0)3 81 66 20 51  
jeanne-marie.jandeaux@univ-fcomte.fr



« J'ai mon portable, vous pouvez m'appeler quand vous voulez / me laisser un message sur ma messagerie vocale / m'envoyer un sms / me joindre par mail / me transmettre des photos... »  
Objet par excellence de notre quotidien moderne, indispensable outil de travail ou inséparable doudou, le téléphone portable représente désormais un concentré de technologies de très haut niveau. On aurait tendance à l'oublier en pianotant sur le clavier d'un smartphone. Zoom sur quelques-unes d'entre elles...



Photo by Yarnik Sauerwein on Unsplash

GRAND FORMAT [ TECHNOLOGIES ]

# AUTOPSIE D'UN SMARTPHONE

## [ TEMPS-FRÉQUENCE ]

### L'HORLOGE ATOMIQUE, INDISPENSABLE AU TRANSFERT D'INFORMATION

Si le téléphone portable, pour l'instant, ne compte pas d'horloge atomique au nombre de ses composants, son fonctionnement est pourtant assujéti à cette merveille de technologie issue du domaine du temps-fréquence.

L'horloge atomique est un élément clé des réseaux de télécommunications, elle est présente dans tous les nœuds et relais qui les jalonnent. C'est grâce à elles et à leur incroyable exactitude que le transfert de l'information est assuré de façon synchrone sur l'ensemble d'un réseau. « À très haut débit, les échanges s'effectuent en centaines de mégabits par seconde sans que le moindre bit d'information soit perdu, qu'il s'agisse de reconstituer une image, un message écrit ou une conversation orale », souligne Christoph Affolderbach, physicien au Laboratoire temps-fréquence (LTF) de l'université de Neuchâtel. Les horloges atomiques sont aussi à l'origine de

la localisation des téléphones et de leurs utilisateurs. Aujourd'hui beaucoup de smartphones sont équipés d'un récepteur GPS, une puce électronique recevant les signaux émis par des satellites pour calculer la position de l'utilisateur et lui permettre ainsi d'accéder à des services de cartographie tels que Google Maps ou des services de guidage comme Waze. « Grâce aux horloges embarquées, les satellites sont synchronisés entre eux avec une exactitude d'une nanoseconde, un milliardième de seconde par jour... » Mais si cette extrême rigueur dans l'espace garantit une géolocalisation au mètre près sur Terre, la qualité de la réception n'est pas toujours en rapport. Montagnes, immeubles et autres obstacles sont responsables d'une altération de la réception des signaux, et par là même d'un défaut de positionnement. Pour pallier cet écueil, les chercheurs travaillent au développement d'une horloge atomique suffisamment miniaturisée pour l'intégrer à l'intérieur même du téléphone : en assurant un rôle de relais, elle pourrait maintenir la qualité du positionnement sur une courte durée. La fabrication d'une telle horloge, et son intégration, est l'un des défis du projet européen macQsimal, réunissant 14 partenaires industriels et académiques, dont l'université de Neuchâtel. « La première révolution quantique a donné naissance aux transistors et aux lasers, sans qui les ordinateurs, les mobiles et internet n'auraient pu exister. Aujourd'hui, un nouveau tournant technologique se profile, grâce à la possibilité de manipuler les propriétés quantiques fondamentales des systèmes et des matériaux. »

Phénomènes quantiques et technologies de microfabrication se combinent dans ce projet pour élaborer des capteurs dont la très haute performance proviendra de l'exploitation de cellules à vapeur atomique. Actuellement aucune technologie basée sur une telle précision atomique n'est présente dans un téléphone portable. Les chercheurs impliqués dans macQsimal travaillent à transférer celles issues du temps-fréquence dans des cellules miniatures. « Certaines approches sont avérées dans le domaine des atomes refroidis par laser, mais restent encore à démontrer pour les cellules à vapeur atomique. Il s'agit par exemple de limiter, par compression, la fluctuation intrinsèque des propriétés des atomes, puis d'utiliser celles-ci pour la mesure du temps, en plaçant les atomes dans un état d'intrication ou de superposition », explique Christoph Affolderbach. Si un premier prototype de 5 cm<sup>3</sup> est un objectif envisageable dans 5 à 10 ans, il faudra encore du temps pour réussir à implémenter une horloge réellement miniature dans un téléphone portable.

L'extrême rigueur des horloges embarquées dans l'espace garantit une géolocalisation au mètre près sur Terre

## CAPTEURS QUANTIQUES

La fabrication de capteurs d'une incroyable sensibilité, utilisant les propriétés quantiques des atomes, est au cœur du projet macQsimal, qui concerne plusieurs applications majeures de la mesure en physique : le temps, avec la génération d'horloges susceptibles de s'immiscer à l'intérieur d'instruments portables tels qu'un téléphone ; le champ magnétique, avec des magnétomètres capables de

mesurer les infimes signaux envoyés par le cœur ou le cerveau humain ; le mouvement de rotation, et la mise au point de gyroscopes de nouvelle génération, indispensables à l'amélioration des systèmes d'assistance à la conduite voire la gestion de la conduite des véhicules autonomes ; la concentration de gaz, avec la détection ultrafine de molécules. Sélectionné par la Commission européenne dans le cadre du

H2020 *Quantum Flagship*, lancé en octobre 2018 et doté de 10 millions d'euros, macQsimal est coordonné par le Centre Suisse d'Électronique et de Microtechnique (CSEM) et réunit 14 partenaires industriels et académiques, pour lesquels la volonté est de créer une industrie quantique européenne performante à un horizon de cinq à dix ans. Pour plus d'informations : [macqsimal.eu](http://macqsimal.eu).

## MONTÉE EN FRÉQUENCE DES FILTRES À ONDES ÉLASTIQUES

Un smartphone compte une quarantaine de filtres permettant de multiplier les canaux d'échange d'informations et de téléphoner, envoyer un sms ou regarder une vidéo

Dans un réseau de télécommunications, de l'antenne au téléphone portable, chaque transfert de données suppose la présence d'un filtre dans la chaîne de traitement du signal radiofréquence (sélection du signal utile). Un smartphone compte lui-même une quarantaine de filtres permettant de multiplier les canaux d'échange d'informations et de téléphoner, envoyer un sms, regarder une vidéo, écouter de la musique...

Ces filtres à ondes acoustiques de volume ou de surface sont dits passifs : aucun de leurs composants ne nécessite d'apport d'énergie pour fonctionner, une aubaine pour les batteries. Les filtres sont aujourd'hui amenés à couvrir des bandes passantes à des fréquences supérieures à 3 GHz pour gagner en performance et entrer dans le domaine de la 5G, qui devrait apporter des progrès spectaculaires en termes de vitesse de télécommunication, avec des débits de l'ordre du gigabit par seconde.

Au département Temps-fréquence de l'Institut FEMTO-ST, Thomas Baron et son équipe sont des spécialistes des filtres acoustiques à ondes de surface. « Pour monter en fréquence, nous travaillons à augmenter la vitesse de propagation des ondes, une variable directement liée à la nature et à la structure du matériau composant le filtre », explique le physicien.

L'équipe travaille par exemple sur des structures composites pour lesquelles un film mince piézoélectrique de tantalate de lithium ( $\text{LiTaO}_3$ ) est couplé à un substrat en silicium assurant, entre autres propriétés, la stabilisation de la vitesse de propagation de l'onde dans le tantalate. Un autre défi concerne

l'architecture des composants : repousser les limites actuelles des procédés de fabrication, pour réussir à donner de nouvelles géométries aux matériaux, permettra aussi de jouer sur la vitesse de propagation de l'onde, que les chercheurs espèrent repousser à 10 voire 11 000 m/s, contre 3 à 6 000 m/s aujourd'hui. Enfin, mettre au point de nouveaux matériaux signifie aussi développer de nouvelles techniques de caractérisation, notamment optiques, pour en mesurer les propriétés.

Matériaux, technologies de fabrication, moyens de caractérisation : pour mieux maîtriser ce triple enjeu, le projet Smart Inn a été mis en place avec l'intention de fédérer au niveau régional les spécialistes du filtrage à ondes de surface. Ainsi les sociétés industrielles AR Electronique, Digital Surf, Frecln|sys, my-OCCS et SnowRay partagent-elles leurs compétences et leurs outils, travaillent en collaboration avec l'Institut FEMTO-ST et bénéficient des moyens technologiques de la centrale MIMENTO.

« Ce projet de recherche partenariale est clairement orienté vers l'industrialisation future de composants présentant des caractéristiques inédites, et vers l'identification de marchés, en vue de leur commercialisation. Pour notre équipe, il

constitue un prolongement, sur le terrain, de travaux également menés en amont. »

Engagé pour 4 ans (2015-2019), Smart Inn est un projet de spécialisation intelligente (RIS 3) financé par l'Europe via le FEDER, par BPI France, et par la Région Bourgogne - Franche-Comté.



## [ OPTIQUE ]

## DÉCOUPE LASER POUR ÉCRANS IMPECCABLES

Un écran parfaitement découpé et poli sur tranche ? La technologie du laser femtoseconde est sans conteste celle qui s'acquitte le mieux de cette mission. Aujourd'hui opérationnelle dans le monde industriel, elle reste l'objet de nombreuses recherches menées au département Optique de l'Institut FEMTO-ST. François Courvoisier et son équipe sont les premiers, au niveau mondial, à avoir maîtrisé la découpe par laser femtoseconde, qui consiste à percer côte à côte des milliers de trous de très haut rapport de forme pour que se casse le verre d'une façon nette et sans bavure le long de ces pointillés. Le rapport de forme atteint la valeur phénoménale de 1 000, voire 10 000, pour 1 : les canaux obtenus affichent plusieurs centaines de  $\mu\text{m}$  de profondeur pour un diamètre de 100 nm, l'équivalent d'un tunnel de 10 à 100 km de long pour 10 m de diamètre. Le tout percé en une seule fois, grâce à une seule impulsion laser, qui en une centaine de femtosecondes concentre une puissance comparable à celle de plusieurs centrales nucléaires réunies. Rappelons qu'une femtoseconde représente  $10^{-15}$  s. Les industriels ne s'y sont pas trompés, qui se sont équipés de lasers femtoseconde puissants et performants, leur permettant d'assurer la découpe du verre à une vitesse de l'ordre du mètre par seconde. « L'impulsion laser donne naissance à un plasma, qui à son tour génère une pression et une température telles que le verre explose, explique François Courvoisier. C'est donc un stress interne qui fait que le verre se casse, se clive par lui-même : le contrôle des interactions entre laser, plasma et matière est capital. » Les chercheurs continuent, eux, à peaufiner le procédé. À FEMTO-ST, ils ont par exemple mis au point de nouvelles formes de lasers pour le perçage de canaux elliptiques. Grâce à cette « astuce » géométrique, le stress provoqué à l'intérieur du matériau est plus important, et surtout génère une cassure suivant exactement la ligne de perçage, ce qui n'était jusque-là pas maîtrisé de façon systématique. Cette fracture, provoquée pile au bon endroit, garantit une plus grande solidité du verre, tout en continuant d'assurer une découpe et une finition parfaites. Mais si la technologie continue de faire ses preuves, il n'en reste pas moins que certains principes physiques à l'œuvre restent obscurs, même pour les chercheurs qui l'ont mise au point. Pour mieux les comprendre, et de là avancer dans un domaine aux enjeux majeurs, l'équipe menée par François Courvoisier s'est vue accorder un prestigieux financement européen de l'ERC (*European Research Council*), de l'ordre de deux millions d'euros sur cinq ans. Le projet arrive aujourd'hui à mi-parcours, et les chercheurs attendent beaucoup de l'expérience qu'ils ont mise au point, une infrastructure qui leur a demandé deux années de travail pour pouvoir répondre à un questionnement complexe. « Le piège est prêt ! Il nous permettra de mettre en évidence les processus en jeu, qui tiennent de différents aspects de la physique, quantique, thermodynamique, mécanique, acoustique, des plasmas... » Et de mieux maîtriser de nouveaux développements, notamment d'autres applications spécifiques à la microélectronique. Un projet concerne par exemple le perçage de « sandwichs » composés de verre et de silicium. De tels empilements de couches incluant des semi-conducteurs, reliées entre elles par de la connectique, seraient utiles pour l'alimentation électrique de différents composants d'un portable.



C'est un stress interne provoqué par le laser qui fait que le verre se casse par lui-même

[ MATHÉMATIQUES ]

MESSAGE BIEN ARRIVÉ ?

Les codes correcteurs peuvent détecter, voire corriger, les erreurs susceptibles de survenir lors du stockage ou de la transmission de l'information

Pour qu'un message soit acheminé de façon fiable et adressé à la bonne personne, la transmission de l'information s'entoure de règles de sécurité auxquelles les mathématiques apportent leur contribution.

Ingénieusement utilisés dans l'industrie, certains grands principes mathématiques sont ainsi impliqués dans la construction de codes correcteurs. Ces codes peuvent détecter, voire corriger, les erreurs susceptibles de survenir lors du stockage ou de la transmission de l'information. « Ils sont élaborés différemment selon le support d'information et le canal de diffusion concernés, explique Philippe Lebacque au Laboratoire de mathématiques de Besançon. Mais dans tous les cas, et par définition, ils consistent à ajouter de la redondance à l'information afin de garantir l'intégrité du message initial ». Un exemple de code élémentaire consiste à ajouter un bit dit de parité à un mot formé de 0 et de 1, de sorte que la somme des bits soit paire. Si la valeur d'un bit change lors de la transmission, cette somme sera impaire, ce qui témoigne d'une erreur de transmission. Les codes linéaires, eux, sont intéressants pour la rapidité et le faible coût d'encodage et de décodage.

La téléphonie mobile a par exemple recours aux systèmes suivants : les turbo codes, basés sur l'entrelacement des données, et les codes de Reed-Solomon, consistant à « évaluer des polynômes », qui sont des sommes de puissances des éléments d'un corps fini.

Si ces codes sont largement utilisés dans l'industrie, ils font aussi l'objet de recherches fondamentales. Philippe Lebacque étudie les codes de Goppa, codes géométriques généralisant les codes de Reed-Solomon. Il ne s'agit plus ici de travailler avec des polynômes, mais avec des espaces de fonctions rationnelles sur des courbes ou des surfaces algébriques : c'est l'évolution qui sous-tend les travaux de recherche menés au LMB dans ce domaine.

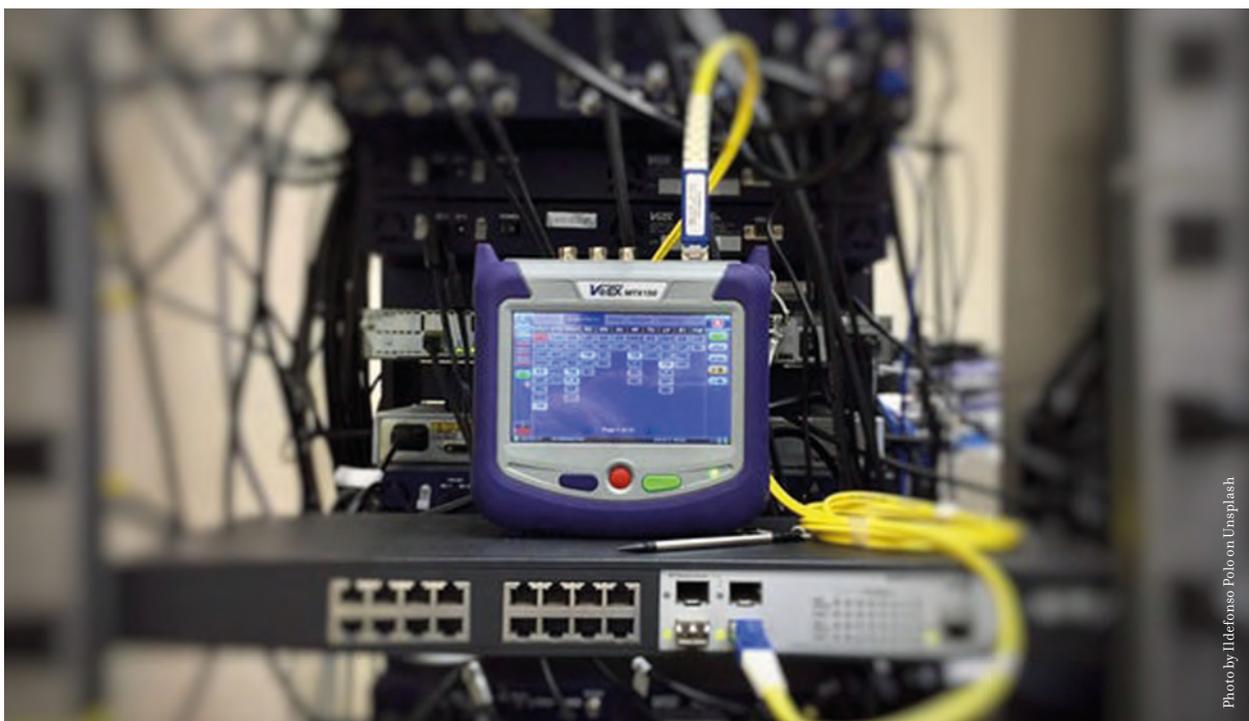


Photo by Hedefonso Polo on Unsplash

## LA CULTURE DU SECRET

La cryptographie est une méthode également très répandue pour sécuriser l'information. Elle est omniprésente dans notre vie de tous les jours. Elle peut s'appuyer sur la théorie des nombres et la géométrie arithmétique, et se scinde en deux familles.

Les systèmes symétriques comportent deux clés secrètes, chacune détenue par l'un et l'autre des deux interlocuteurs, ce qui assure la fiabilité de l'information. Ces clés peuvent être partagées avec le fournisseur d'accès : l'inscription d'une clé secrète sur la carte SIM d'un

mobile permet d'identifier l'interlocuteur sur le réseau. Les systèmes asymétriques comportent une clé publique et une clé secrète, et assurent la confidentialité d'une information sur un réseau public. Ils concernent par exemple des messageries instantanées telles que WhatsApp ou Facebook Messenger. Dans cette configuration, ni les fournisseurs d'accès, ni l'État ne sont capables de décrypter les conversations privées. À chaque message transmis correspond

un code unique : si quelqu'un perce le secret d'une clé, il ne pourra dans tous les cas avoir accès qu'à un seul message. « De tels systèmes sont critiqués dans le cadre de la lutte contre le terrorisme, mais appréciés par les populations des pays totalitaires. »

Dans le domaine de la cryptographie, Philippe Lebacque et son équipe travaillent au LMB sur des outils permettant d'élaborer des cryptosystèmes susceptibles de résister au décryptage par ordinateur quantique.

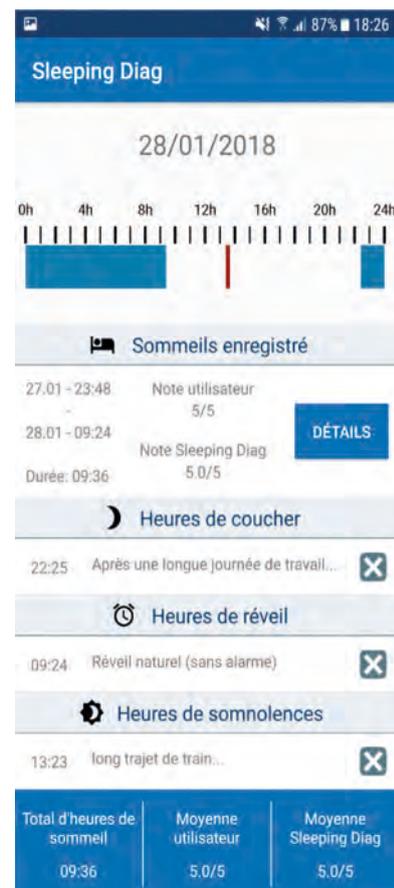
## [ INFORMATIQUE ]

### CONNECTE-TOI, JE TE DIRAI COMMENT TU DORS

Les modèles mathématiques sont aussi partie prenante du développement d'applications informatiques de plus en plus spécialisées et opérationnelles sur mobiles. À la Haute Ecole Arc Ingénierie, Aïcha Rizzotti-Kaddouri est chercheuse et enseignante en applications mobiles et dispositifs portables. Ses différents projets de recherche s'appuient sur les ressources de l'établissement ou ceux de la HES-SO<sup>1</sup>. Les moyens et compétences en informatique permettent de maîtriser entièrement tous les maillons de la chaîne : acquisition des données, connexion Bluetooth, transmission des informations au serveur, gestion des bases de données, traitement des données, éventuellement envoi de messages d'alarme aux utilisateurs, le tout en assurant la sécurité du transfert et du stockage des informations. « Une application dédiée à la question du sommeil a par exemple été élaborée avec des étudiants de master, explique l'informaticienne. Ce travail a fait l'objet d'une communication lors d'une conférence internationale fin 2018. »

L'innovation réside dans le traitement combiné d'informations provenant de différentes sources, par une interface mobile.

Le concept sous-tend l'ensemble des travaux menés sous la houlette d'Aïcha Rizzotti-Kaddouri. Des données physiologiques, captées par un « bracelet de recherche » porté par une personne, sont associées à des informations d'ordre biologique et contextuel. Les données brutes transitent par l'intermédiaire du mobile vers des serveurs dédiés au *machine learning*, et le résultat personnalisé est envoyé à l'application mobile de l'utilisateur. Dans le cas du sommeil, on accède ainsi à des indications non seulement sur sa durée effective, mais aussi sur sa qualité. S'il n'est pas encore possible d'en qualifier les phases (sommeil profond, paradoxal...), cette analyse plus fine encore figure aux objectifs de développement de l'application. Dans la même veine, la somnolence est également dans la ligne de mire des chercheurs. En collaboration avec la Ligue pulmonaire neuchâteloise, un travail mené avec des



Interface mobile créée à la Haute Ecole Arc pour le suivi de la durée et de la qualité du sommeil

<sup>1</sup> HES-SO : Haute Ecole Spécialisée de Suisse Occidentale

étudiants de bachelor (licence) est à l'origine d'une application de suivi de vigilance et de sommeil d'une personne présentant des symptômes de somnolence. Cette application mobile peut remplacer un agenda de sommeil papier par son équivalent électronique, et apportera des précisions en utilisant des capteurs comme un accéléromètre et un capteur de lumière. Autre exemple : la détection de stress. Pour connaître son importance, les signaux physiologiques transmis par le bracelet (batttements cardiaques, sudation de la peau, température du corps) sont couplés à des informations biologiques (mesure du cortisol dans la salive) et à des données contextuelles (âge, pratique ou non d'un sport, état de santé général). L'information se complète d'une évaluation, par la personne, de son niveau de stress. La comparaison entre ce ressenti et les données réelles enregistrées fournit une grille d'analyse supplémentaire pour le diagnostic. Ce projet exploratoire, visant à mettre au point un système non invasif d'évaluation du stress, devrait prochainement faire l'objet de premiers tests. Enfin, sur un sujet emblématique du domaine de la santé, l'équipe travaille à la mise au point d'une application assurant le suivi de patients atteints de diabète de type 1. Mené en collaboration avec des médecins et des patients, le projet prévoit d'élaborer un modèle prédictif du taux de glucose pour pouvoir anticiper les variations de cet indicateur essentiel et mieux gérer la maladie. Là encore, le mobile devient une plaque tournante pour le recueil, la compilation et l'analyse de données provenant de sources diverses, et une interface privilégiée de restitution de l'information auprès de l'utilisateur.

#### [ INFORMATIQUE ]

### SUR LES TRACES DE LA JOCONDE OU DE LA PROMO DU MOIS

D'autres développements informatiques concernent la traque des mobiles, pour lesquels est requise une bonne connaissance du fonctionnement des réseaux de communication, du wifi et des standards 3G et 4G. Au DISC, à l'Institut FEMTO-ST, l'informaticien Frédéric Lassabe cherche à localiser un mobile à l'intérieur d'un bâtiment par empreinte radio, une méthode plus précise que les systèmes habituellement utilisés s'inspirant du fonctionnement du GPS. « Des mesures de position réalisées dans un bâtiment nourrissent une base de données, qui sert à élaborer un modèle radio. Par similarité avec les références que ce modèle indique, on peut détecter la position d'un mobile et suivre ses déplacements. » La méthode tient compte des murs, colonnes et autres éléments d'architecture, et permet de s'affranchir de ces obstacles gênant la réception des signaux. Elle est efficace pour localiser un portable sans même que son utilisateur donne son autorisation de manière explicite. On peut s'en réjouir comme s'en inquiéter. « Qu'un téléphone soit allumé et le wifi activé, et il devient possible, avec ce système, de savoir exactement où se trouve une personne bloquée dans un immeuble en feu », souligne Frédéric Lassabe. Une application possible de la méthode de localisation par empreinte radio concerne la visite guidée et personnalisée d'un musée. L'idée est d'aider le promeneur à s'orienter dans le dédale des galeries du Louvre, par exemple, et d'afficher sur l'écran de son portable l'histoire de la Joconde, au moment précis où il s'arrête devant le mystérieux tableau. Même cheminement et même principe de fonctionnement dans des applications commerciales, comme celle

Localiser un portable par empreinte radio est possible sans que son utilisateur donne son autorisation de manière explicite

prévoyant de signaler une promotion en cours ou d'adresser une publicité à une cible précise de consommateurs, en fonction des déplacements que ceux-ci effectuent dans un supermarché. « De manière générale, toute application, qu'elle soit téléchargée ou implicite, est liée au profilage d'une personne, ce qui pose bien sûr le problème de la protection de la vie



privée. Notre souhait est de limiter au maximum, en collaboration avec les fournisseurs de réseau, la quantité d'informations dévoilées. »

Le même souci de protection des données anime Frédéric Lassabe et ses collaborateurs, dans le cadre de recherches sur la mobilité des territoires. « À l'intérieur d'un réseau de communication mobile, l'opérateur de téléphonie sait dans quelle cellule géographique un utilisateur se trouve ; il a aussi accès à des informations très précises le concernant. »

Le guidage par empreinte radio permettra aux visiteurs de recevoir des informations sur un tableau au moment précis où ils s'arrêteront devant lui. De quoi percer le mystère du sourire de la Joconde ?

Se servir de ces informations est interdit par la loi, hormis pour les besoins de la justice et de la police. Mais il est possible de les agréger et de les rendre anonymes pour les exploiter, et les informaticiens travaillent à garantir cette anonymisation des données, selon les règles édictées par la CNIL. À partir d'informations sur la fréquentation d'un secteur géographique donné, les chercheurs peuvent avancer des propositions d'optimisation d'un réseau de transport en commun, conseiller une implantation de bornes de recharge pour véhicules électriques, ou encore estimer les besoins en places de parking. « Nous formulons nos recommandations à l'intention des élus et des décideurs afin que les collectivités disposent d'éléments pour optimiser l'aménagement territorial et rapprocher les services de mobilité du plus grand nombre. »

Contacts :

**Université de Neuchâtel**

• Laboratoire temps-fréquence  
Christoph Affolderbach  
Tél. +41 (0)32 718 34 56  
christoph.affolderbach@unine.ch

**Institut FEMTO-ST  
UFC / ENSMM / UTBM / CNRS**

• Département Temps-fréquence  
Thomas Baron - Tél. 0(3) 81 40 28 96  
thomas.baron@femto-st.fr

• Département Optique  
François Courvoisier  
Tél. +33 (0)3 63 08 24 23  
francois.courvoisier@femto-st.fr

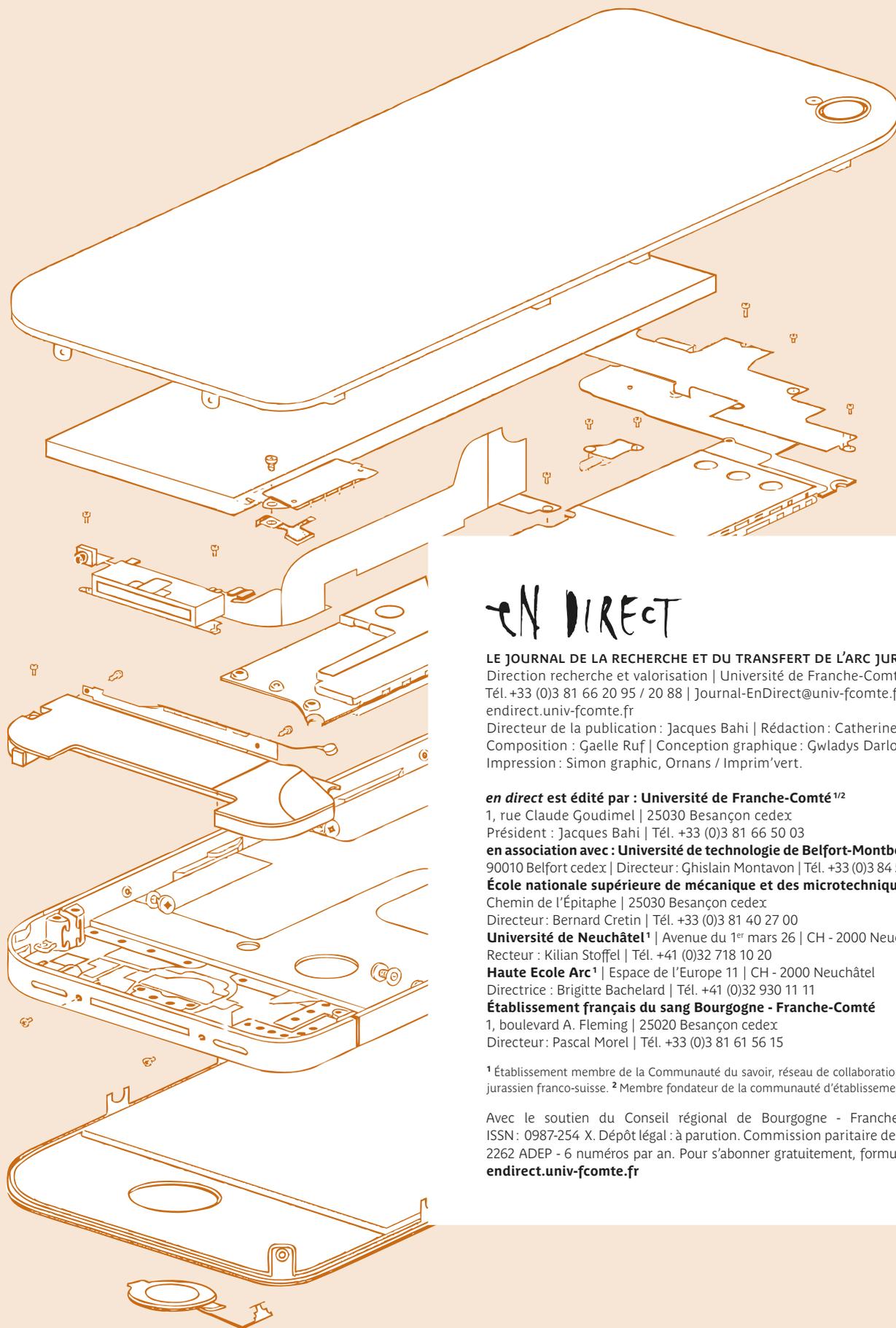
• Département d'informatique des systèmes complexes (DISC)  
Frédéric Lassabe - Tél. 0(3) 84 58 34 50 -  
frederic.lassabe@femto-st.fr

**Laboratoire de mathématiques de  
Besançon - UFC / CNRS**

Philippe Lebacque  
Tél. +33 (0)3 81 66 63 58  
philippe.lebacque@univ-fcomte.fr

**Haute Ecole Arc Ingénierie**

Aïcha Rizzotti-Kaddouri  
Tél. +41 (0)32 930 22 94  
aicha.rizzotti@he-arc.ch



## EN DIRECT

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

Direction recherche et valorisation | Université de Franche-Comté  
Tél. +33 (0)3 81 66 20 95 / 20 88 | Journal-EnDirect@univ-fcomte.fr  
endirect.univ-fcomte.fr

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

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

1, rue Claude Goudimel | 25030 Besançon cedex  
Président : Jacques Bahi | Tél. +33 (0)3 81 66 50 03

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

### École nationale supérieure de mécanique et des microtechniques<sup>1/2</sup>

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

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

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

### Établissement français du sang Bourgogne - Franche-Comté

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

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

Avec le soutien du Conseil régional de Bourgogne - Franche-Comté.  
ISSN : 0987-254 X. Dépôt légal : à parution. Commission paritaire de presse :  
2262 ADEP - 6 numéros par an. Pour s'abonner gratuitement, formulaire sur  
[endirect.univ-fcomte.fr](http://endirect.univ-fcomte.fr)