

abécédaire  
de l'innovation  
#2



Poussez la porte de nos laboratoires  
et composez votre parcours....

[www.utc.fr](http://www.utc.fr)  
> visite hypermédia



Retrouvez nos laboratoires sur [www.utc.fr](http://www.utc.fr) > recherche

## Sommaire

Éditorial par <a href="#">Philippe Courtier</a> , directeur de l'UTC	5
<a href="#">Anticorps synthétiques</a>	7
<a href="#">Big data</a>	9
<a href="#">Comportement cellulaire</a>	11
<a href="#">Dislocations</a>	13
<a href="#">Encapsulage acoustique</a>	15
<a href="#">Économie de Fonctionnalité</a>	17
<a href="#">Gestion des actifs physiques</a>	19
<a href="#">Milieux Hétérogènes</a>	21
<a href="#">Interfaces</a>	23
<a href="#">Jeu de formulations pour une alimentation saine</a>	25
<a href="#">Kinematics of the human body</a>	27
<a href="#">Ludification</a>	29
<a href="#">Microsystèmes pour micro-usines</a>	31
<a href="#">Résonance magnétique Nucléaire</a>	33
<a href="#">Objets biomédicaux connectés</a>	35
<a href="#">Pathogénicité</a>	37
<a href="#">Quatrième révolution industrielle</a>	39
<a href="#">Réseaux électriques intelligents</a>	41
<a href="#">Sûreté de fonctionnement</a>	43
<a href="#">Thérapies vasculaires</a>	45
<a href="#">Usages sociaux des technologies</a>	47
<a href="#">Vision par ordinateur</a>	49
<a href="#">Wikipédiens</a>	51
<a href="#">Structures XXL en conditions extrêmes</a>	53
<a href="#">HYdrogène</a>	55
<a href="#">Z : une équation stochastique</a>	57
Liste des <a href="#">enseignants-chercheurs</a> cités par laboratoire	58



## Édito

À votre rythme et selon votre curiosité du moment, découvrez cette deuxième version de l'abécédaire qui présente les champs de recherche émergents de l'UTC, en parfaite correspondance avec Horizon 2020 qui fixe trois priorités : l'excellence scientifique, la primauté industrielle et les défis sociétaux.

Bonne lecture.

**Philippe Courtier,**  
directeur de l'UTC



## Anticorps synthétiques

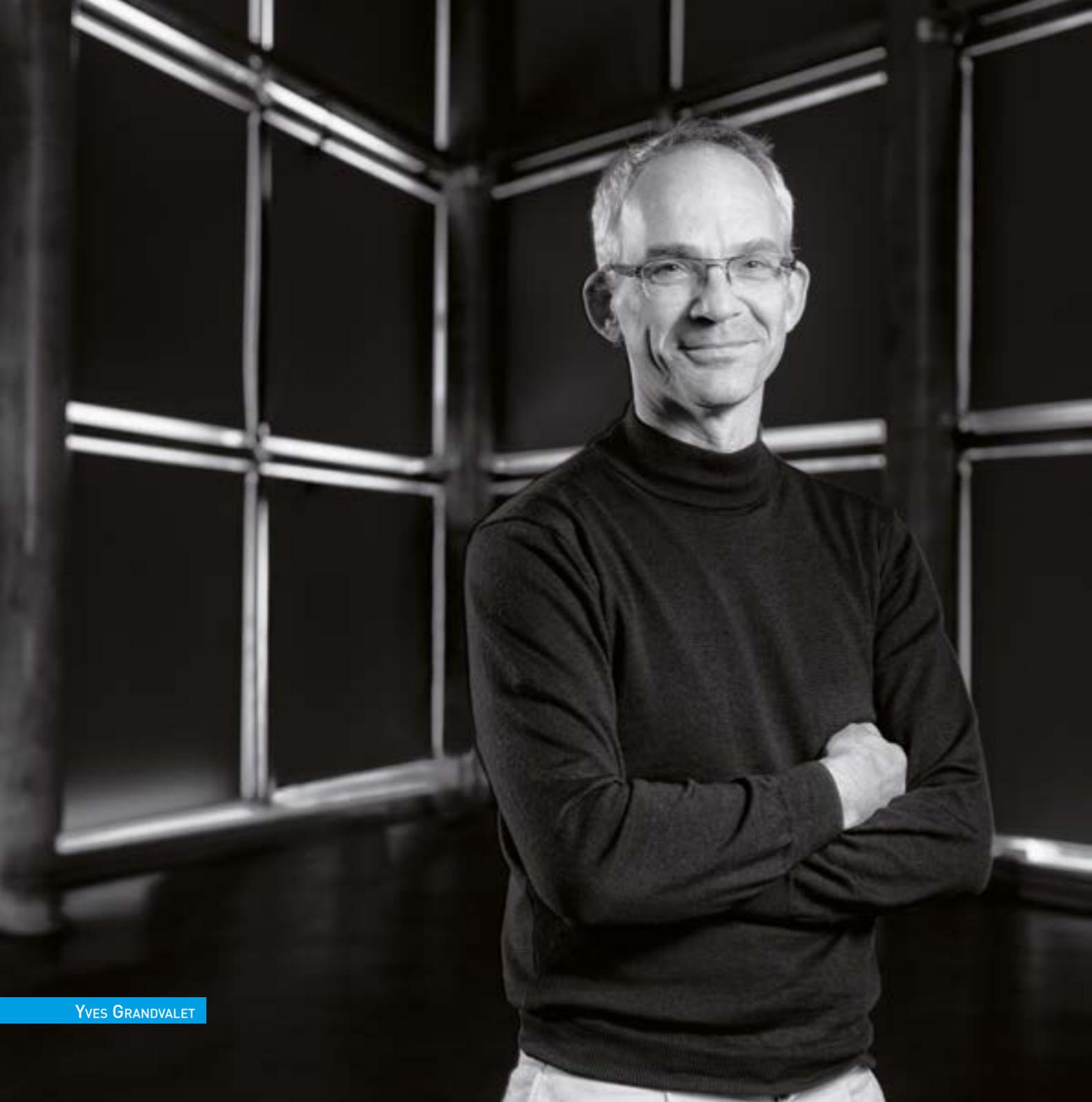
Ce sont des matériaux biomimétiques : de minuscules particules de polymère moulées autour d'une molécule cible dont elles conservent l'empreinte. D'où leur propriété : elles reconnaissent et neutralisent cette cible exactement comme le fait un anticorps avec un agent pathogène.

« Ces anticorps synthétiques, qu'on appelle polymères à empreinte moléculaire (MIP, en anglais), sont connus depuis longtemps, explique Jeanne Bernadette Tse Sum Bui, du laboratoire génie enzymatique et cellulaire (GEC) de l'UTC. Mais, au GEC, nous travaillons sur de nouvelles applications. Avec L'Oréal, nous avons par exemple démontré qu'ils pouvaient servir de principe actif à un déodorant, car ils piègent les molécules à l'origine des odeurs de transpiration avant que les bactéries présentes sur la peau ne les dégradent en composés volatils malodorants. » L'intérêt ? S'affranchir des ingrédients classiques des déodorants : sels d'aluminium potentiellement toxiques et cancérigènes et/ou antibactériens qui, à la longue, peuvent perturber la flore cutanée servant à lutter contre les pathogènes et favoriser l'apparition de bactéries résistantes. Les MIP, eux, n'altèrent en rien cette flore. Et, quoique microscopiques, sont trop gros pour franchir la barrière de la peau.

« Les anticorps synthétiques sont aussi très prometteurs dans le domaine biomédical, souligne Jeanne Bernadette Tse Sum Bui. Aujourd'hui, nous cherchons à les utiliser pour détecter les biomarqueurs de maladies : par exemple, l'acide sialique, dont la présence en grande quantité peut indiquer un cancer. L'idée : développer des MIP ciblant la molécule d'acide sialique et y intégrer un monomère fluorescent, qui se colore lorsqu'il est excité par une source lumineuse. En observant un prélèvement cellulaire incorporant ces MIP au microscope de fluorescence, on verra apparaître des taches de couleur désignant chacune une molécule d'acide sialique piégée par un MIP. Il devrait donc s'agir d'un moyen fiable pour quantifier précisément les molécules d'acide sialique et savoir si les cellules sont vraiment cancéreuses. »

Mieux : les MIP pourraient même servir de vecteurs pour des traitements ciblés, qu'ils libéreraient uniquement sur les tissus malades, sans effets secondaires sur les tissus sains. Une piste que GEC entend également explorer.

En novembre 2017, Bernadette Tse Sum Bui a reçu la médaille de cristal du CNRS.



YVES GRANDVALET

## Big data

Le véhicule autonome fait partie des thèmes phares sur lesquels travaille le laboratoire heuristique et diagnostic des systèmes complexes (Heudiasyc) de l'UTC.

Pour rouler sans conducteur, une voiture de ce type est équipée de caméras et autres capteurs enregistrant en permanence quantité de données sur la scène routière : signalisation, présence d'autres voitures, de cyclistes, de piétons, etc. Autant d'informations traitées par un système à base d'intelligence artificielle qui, en temps réel, doit analyser la situation et décider des actions à réaliser : stopper la voiture si le feu passe au rouge ou si un piéton traverse la chaussée, ne pas doubler si un véhicule arrive en sens inverse... « Pour cela, il faut au préalable lui avoir appris à reconnaître tous les objets susceptibles de se trouver dans l'environnement de la voiture et les règles de décision à appliquer, explique Yves Grandvalet, directeur adjoint d'Heudiasyc et spécialiste de machine learning. Et, dans ce domaine, le big data a changé la donne. »

Jusqu'à présent, pour apprendre à un algorithme ce qu'est un piéton ou une voiture, il fallait en effet le nourrir de milliers d'images de piétons ou de voitures, dont chaque pixel comportait une étiquette lui indiquant qu'il s'agissait d'un piéton ou d'une voiture. Problème : ces données coûtent cher, car leur étiquetage se fait à la main. « La nouveauté, c'est qu'au fil des ans, des quantités massives d'images ont été enregistrées en roulant avec des véhicules, souligne Yves Grandvalet. Des images qu'il n'est plus forcément nécessaire d'étiqueter parce qu'elles sont abondantes et, de ce fait, apportent suffisamment d'information pour qu'un algorithme relativement simple construise une bonne représentation d'un objet. Aujourd'hui, notre objectif est donc d'utiliser le moins possible d'images étiquetées et nos premiers résultats sont encourageants. Nous développons des algorithmes d'apprentissage pour des modèles dont la connaissance du monde est limitée à l'extrême. Ils apprennent ce qu'est un pixel de piéton sans savoir ce qu'est un piéton. Tout ce qu'ils savent, c'est que des pixels voisins sont voisins. Pourtant, grâce à la profusion de données disponibles, ils sont capables de reconnaître des piétons, des immeubles, des voitures, aussi bien que s'ils avaient ingurgité des centaines d'images étiquetées pour chaque type d'objet. »



CHRISTOPHE EGLES

## C omportement cellulaire

---

Comment rendre un matériau biofonctionnel, de sorte qu'il dirige, module ou modifie le comportement des cellules du corps humain ? Chercheur au laboratoire biomécanique et bioingénierie (BMBI) de l'UTC, Christophe Egles est spécialiste de cette question. Parmi les innovations sur lesquelles il travaille, l'utilisation de soie pour favoriser la régénération d'un nerf sectionné. « À condition d'orienter les fibres nerveuses pour qu'elles repoussent toutes dans la même direction, et non dans tous les sens, le nerf se reconstitue, explique-t-il. Aujourd'hui, pour guider les cellules qui repoussent, on peut greffer un morceau d'un autre nerf du patient aux deux extrémités du nerf sectionné. Mais encore faut-il avoir la possibilité de prélever ce greffon sur un nerf dont la fonction n'est pas essentielle, ce qui n'est pas toujours le cas. D'où l'idée de développer un nerf bioartificiel en soie, matériau qui offre plusieurs avantages : il est naturel et a déjà fait ses preuves dans le domaine biomédical, notamment pour les fils de suture, ce qui est un atout pour amener plus vite une nouvelle application sur le marché. »

En faisant appel à l'électrofilage, technique permettant de produire et mettre en forme des nanofibres de polymère, le chercheur a fabriqué de petits tubes de soie biomimétiques (ressemblant à de vrais nerfs), qu'il a enrichis avec des facteurs de croissance : des agents facilitant la repousse des neurones (les cellules dont les prolongements constituent les nerfs). Dans un premier temps, il a cultivé des neurones *in vitro* sur ces nerfs bioartificiels. Expérience concluante : parce que toutes leurs fibres sont orientées dans le même sens, les tubes de soie servent effectivement de rail guidant les prolongements des neurones dans la bonne direction. Puis, dans un deuxième temps, un nerf bioartificiel a été greffé sur des rats dont le nerf sciatique était sectionné. Résultat prometteur, là encore : le nerf lésé s'est reconstitué. Reste maintenant à valider si cette technique permet aux animaux de recouvrer une marche normale.

Mais la soie pourrait aussi trouver d'autres applications en ingénierie cellulaire. Christophe Egles étudie par exemple cette solution pour concevoir des pansements intelligents, accélérant la cicatrisation de plaies se refermant mal, ou pour recouvrir un implant en titane afin d'aider les tissus à s'y attacher.



AHMAD EL HAJJ

## D islocations

Métaux, alliages métalliques et autres matériaux cristallins comportent des lignes de défauts appelées dislocations : des discontinuités dans leur organisation atomique à l'échelle microscopique – par exemple, des endroits où il manque un atome. Lorsqu'on exerce une force sur le matériau, ces lignes se déplacent mais ne reviennent pas à leur position initiale. C'est ce qui explique les déformations plastiques d'un matériau au fil des ans.

À l'UTC, Ahmad El Hajj, du laboratoire de mathématiques appliquées de Compiègne (LMAC) de l'UTC, met en équations la dynamique des dislocations : la manière dont elles se déplacent en fonction de la nature du matériau, de sa texture et des contraintes qu'il subit (effort, chaleur...). Objectif : prédire comment il se sera déformé dans dix ans, cent ans ou plus et, surtout, étudier sa résistance dans le temps. « En laboratoire, on peut faire des tests sur quelques jours, voire un an, mais pas sur une décennie ni sur un siècle, souligne le chercheur. D'où l'intérêt du calcul scientifique. D'autant que, s'il y a vingt ans, les modèles étaient très simples et dédiés à des matériaux spécifiques, les chercheurs les ont peu à peu étendus à des applications plus larges. Et, aujourd'hui, nous travaillons sur des problématiques de plus en plus complexes : par exemple, modéliser les déformations de structures volumiques et non plus simplement de pièces de très faible épaisseur. »

Menées en partenariat avec Roberval, le laboratoire en mécanique, acoustique et matériaux de l'UTC, ces recherches intéressent nombre d'industries : l'aéronautique, pour prédire le comportement dans le temps des matériaux des avions ; le nucléaire, pour prévoir celui des pièces sous irradiation (par exemple, la cuve d'un réacteur) ; la nanoélectronique, qui a besoin de matériaux à la fois très résistants et conducteurs...

« Les modèles sur lesquels je travaille concernent plutôt l'aéronautique, mais peuvent s'appliquer à d'autres domaines, explique Ahmad El Hajj. Nous les validons avec de petites expérimentations physiques. Ensuite, nous intégrons nos équations dans des logiciels utilisables par des ingénieurs non experts en calcul scientifique. Il leur suffit d'entrer les paramètres concernant le matériau et les contraintes auxquelles il est soumis : l'application calcule automatiquement sa déformation à une échéance donnée. »



NICOLAS DAUCHEZ

## Encapsulage acoustique

Depuis 2016, les normes européennes ont diminué le seuil maximal d'émissions sonores des nouveaux modèles de voitures de 72 à 70 décibels (dB). D'ici 2024, elles le ramèneront à 68 dB... soit un nouveau challenge.

« La principale source sonore est le bruit de roulement, contre lequel on ne peut pas grand chose, observe Nicolas Dauchez, du laboratoire mécanique, acoustique et matériaux (Roberval) de l'UTC. Quant au bruit d'échappement, il est déjà très bien maîtrisé. Le seul levier de progrès est le bruit du moteur, mais, comme ce n'est pas la source la plus importante, il faut le réduire d'au moins 5 à 6 décibels pour atteindre un niveau global de 68 dB. » Seul moyen d'y parvenir : optimiser l'encapsulage acoustique du moteur par des écrans en matériau thermocomprimé poreux absorbant le bruit (parfois associés à des matériaux non poreux pour l'isolation acoustique), qui sont placés sous le capot, entre le moteur et l'habitacle, sous le moteur et autour des pare-boue. C'est l'objet du projet Ecobex (Écrans optimisés pour le bruit extérieur), qui associe plusieurs partenaires (Vibratec, Renault, Saint-Gobain Isover...) et dont Roberval est partenaire.

« Notre rôle est d'éclairer la physique des problèmes, explique Nicolas Dauchez. Dans un premier temps, nous avons défini des règles métier sur deux questions : quelle est la quantité idéale de matériaux absorbants au-delà de laquelle le gain n'est plus significatif et quel est le taux idéal d'ouverture des écrans pour laisser échapper la chaleur du moteur tout en réduisant au mieux le bruit rayonné à l'extérieur ? Pour cela, nous avons croisé une approche expérimentale sur maquette et des simulations numériques. Aujourd'hui, nous étudions l'influence de la thermocompression des matériaux sur leurs propriétés acoustiques et mécaniques, ceci pour un très grand nombre de matériaux. Par exemple, à partir de quel stade deviennent-ils isolants et non plus absorbants, car, en les comprimant, on ferme leurs pores, ce qui les rend isolants. »

Ce travail inédit, qui fait l'objet d'une thèse, doit permettre d'établir des règles scientifiques pour déterminer les matériaux ou associations de matériaux optimums. Avec, à la clé, un double enjeu : respecter la norme de 2024, tout en diminuant la masse des véhicules pour limiter leur consommation.



FRÉDÉRIC HUET

## Économie de Fonctionnalité

---

Commercialiser le service rendu par un produit plutôt que le bien lui-même : par exemple, vendre aux transporteurs des kilomètres de roulage et non plus des pneus, comme le propose Michelin. C'est le principe de l'économie de fonctionnalité.

Au laboratoire connaissance, organisation et systèmes techniques (Costech) de l'UTC, Frédéric Huet mène des recherches sur ce nouveau modèle d'activité potentiellement moins prédateur de ressources naturelles : « Il a l'avantage d'amener les entreprises à se concentrer sur la valeur d'usage de leurs produits et non sur la multiplication des biens matériels vendus, d'où des économies de matière et d'énergie. D'autant que, souvent, l'industriel reste propriétaire du bien et gagne à ce qu'il ait la durée de vie la plus longue possible. Mais il s'agit d'une approche complexe à mettre en œuvre, car elle suppose que les entreprises se réinventent, trouvent de nouveaux modes de rémunération, de nouvelles méthodes de conception de leurs produits. »

Comment favoriser cette mutation ? Costech a participé à un projet réunissant plusieurs laboratoires et des industriels autour de cette question : Innovation durable à cycles d'upgrade multiples (IDcyclum). Son enjeu : lutter contre l'obsolescence accélérée des objets grâce à des produits modulaires et évolutifs, d'emblée conçus pour pouvoir être mis à niveau au fil de l'évolution des technologies et des besoins des consommateurs. Un fabricant d'électroménager pourrait ainsi proposer à ses clients de faire évoluer leur aspirateur pour qu'il consomme moins d'énergie ou pour qu'il soit connecté à Internet et leur apporte de nouveaux services, et se rémunérerait sur ces mises à niveau. « La technique joue un rôle décisif, souligne Frédéric Huet. C'est un moyen de "servicialiser" peu à peu une offre. D'où notre postulat : pour intégrer les principes de l'économie de fonctionnalité, un industriel doit repenser conjointement la conception de ses produits et son business model. Nous avons donc conçu une méthodologie permettant d'avancer de front sur les problématiques techniques (l'écoconception du produit) et économiques (le business model), tout en stimulant la créativité des entreprises pour ouvrir le champ des possibles : quels services innovants apporter au client à la place de la propriété du bien, comment concevoir le produit pour le rendre évolutif, quelles modalités de rémunération imaginer, comment organiser la production, etc. ? »

IDcyclum s'est achevé en 2016. Cette méthode peut maintenant être expérimentée sur un projet industriel réel.



JEAN-PASCAL FOUCAULT

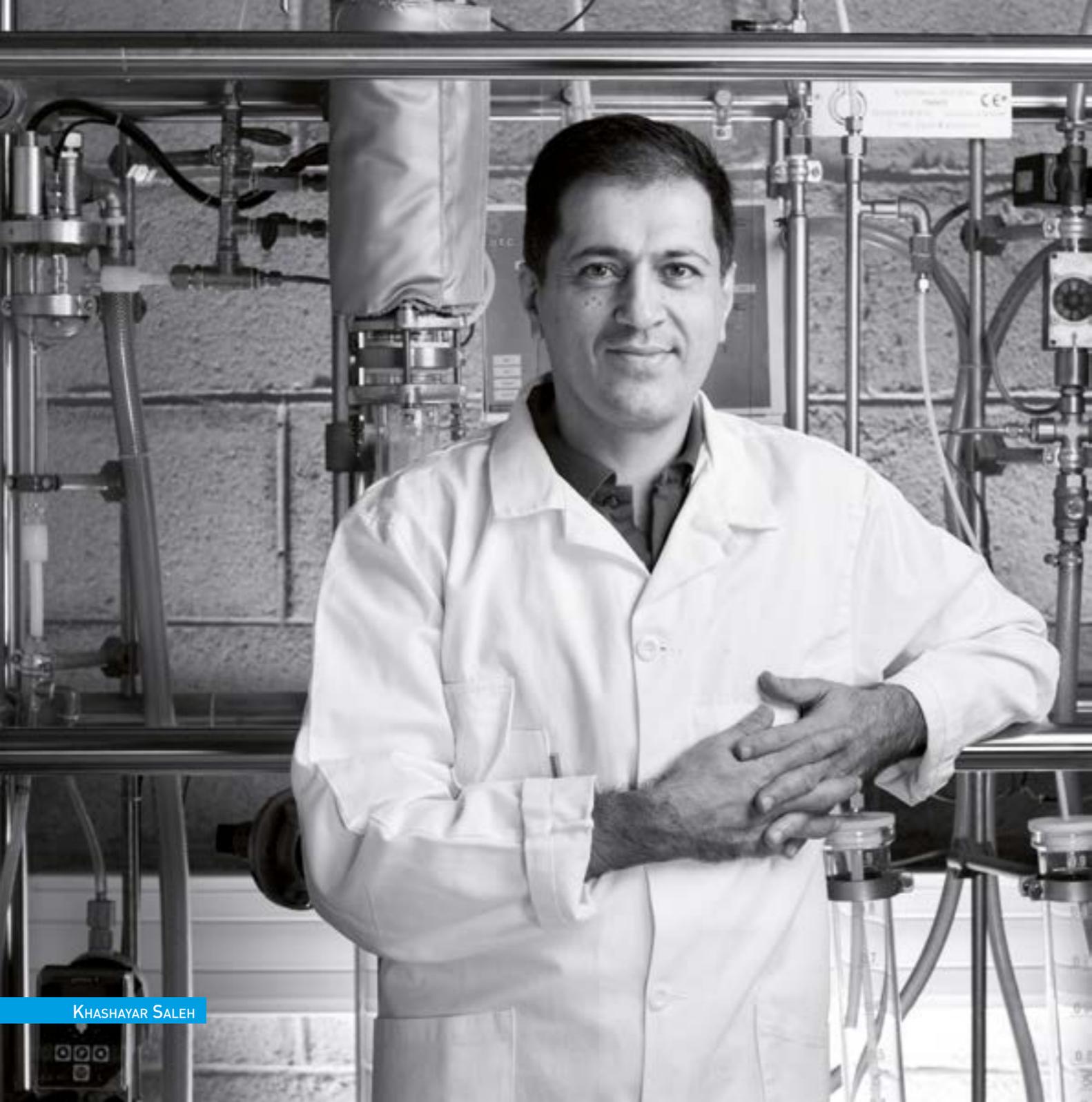
## Gestion des actifs physiques

Villes, hôpitaux, universités, aéroports, gares, usines, routes ... Il est essentiel de préserver les bâtiments et autres infrastructures urbaines existantes le plus longtemps possible. « D'abord parce que nous n'avons pas les moyens de les renouveler tous les cinquante ans, explique Jean-Pascal Foucault, chercheur au laboratoire modélisation multi-échelle des systèmes urbains (Avenues) de l'UTC. Ensuite, parce qu'il s'agit d'une authentique démarche de développement durable permettant d'économiser des matériaux et de l'énergie. Mais, pour cela, encore faut-il dépasser la vision classique de la gestion des actifs physiques, qui se limite généralement au cycle de vie des matériaux, c'est-à-dire aux opérations de maintenance et de renouvellement systématique d'équipements. »

Ce que propose le chercheur ? Des méthodes et des outils d'aide à la décision innovants, qui conjuguent trois cycles de vie. Celui des matériaux, bien sûr, mais aussi celui des usages : « Tout actif physique est conçu pour répondre à des besoins. Or ceux-ci évoluent dans le temps. Maintenir la valeur d'usage d'une infrastructure sur le long terme (son utilité par rapport aux besoins) nécessite donc de l'adapter à ces mutations. Par exemple, le développement de la prise en charge multidisciplinaire des maladies chroniques ou les traitements ambulatoires supposent de reconfigurer les hôpitaux. » Enfin, troisième cycle de vie à prendre en compte : celui de la gouvernance. Comment évoluent les politiques sociale, économique et environnementale des décideurs et comment y adapter les actifs physiques ?

« Pour prendre les bonnes décisions, il faut faire dialoguer ces trois cycles, explique Jean-Pascal Foucault. Et notamment trouver le point d'équilibre entre logiques individualistes et intérêt collectif. Par exemple, avec la génération des papy-boomers, on observe une pression croissante pour climatiser les chambres d'hôpitaux, ce qui va à l'encontre de la transition énergétique. Quels mécanismes incitatifs mettre en place pour dépasser les logiques de cavalier seul de ce type sans tomber dans un collectivisme pur et dur qui confinerait à la dictature ? C'est sur cette dialectique que je travaille depuis vingt ans. »

Des recherches qui ont donné naissance à une entreprise : tbmaestro. Implantée en France et au Canada, elle aide les acteurs publics et privés à optimiser la gestion de leurs actifs physiques en s'appuyant sur des solutions conçues par le chercheur et les équipes de l'entreprise.



KHASHAYAR SALEH

## Milieux Hétérogènes

Du sucre au combustible des centrales nucléaires en passant par les fards à paupières, les peintures automobiles ou les médicaments, les poudres sont omniprésentes. « Selon les secteurs industriels, entre 70 % et 90 % des produits sont conditionnés sous cette forme à un moment de leur cycle de vie, même si le produit final n'est pas une poudre », souligne Khashayar Saleh, spécialiste de la physique et de la chimie des poudres et des procédés solides divisés au laboratoire transformations intégrées de la matière renouvelable (TIMR) de l'UTC. Cet état divisé de la matière offre en effet quantité d'atouts, notamment en termes de stockage et de durabilité. Le lait en poudre a par exemple un volume 90 % plus faible que le lait liquide et se conserve plus longtemps.

Pour autant, les poudres demeurent difficiles à maîtriser. « Ce sont des milieux hétérogènes, composés de particules de formes et de tailles différentes qui interagissent entre elles, explique le chercheur. Les lois physiques auxquelles ils obéissent sont différentes de celles des solides non divisés, des liquides ou des gaz, et restent largement méconnues. » Conséquence : on ne sait pas modéliser et donc prévoir le comportement des poudres, et leur mise en œuvre industrielle peut poser nombre de problèmes, sur lesquels TIMR a développé une expertise rare. « Parmi les plus récurrents figurent la coulabilité des poudres (leur capacité à s'écouler régulièrement) ou bien le mottage (l'agglomération non voulue des particules), qui peuvent notamment entraîner la mise au rebut des produits et des arrêts des chaînes de production, note Khashayar Saleh. Le mottage, par exemple, est un phénomène inévitable : c'est juste une question de temps, nous cherchons donc à le retarder. C'est un sujet sur lequel nous menons des recherches pour des secteurs aussi divers que l'industrie cosmétique et pharmaceutique, l'agroalimentaire ou encore l'énergie. »

Mais la difficulté vient aussi de la sophistication croissante des poudres, notamment avec la vogue des produits 2 en 1 ou 3 en 1, qui, en outre, peuvent intégrer des substances antagonistes. « Nous avons par exemple travaillé sur une poudre de soins capillaires combinant un oxydant et un antioxydant, poursuit Khashayar Saleh. Ces deux composants étant réactifs, il a fallu mettre au point un procédé pour encapsuler leurs particules. Un défi d'autant plus complexe que les capsules devaient être plus ou moins facilement solubles dans l'eau, de manière à relarguer chaque substance au moment voulu : l'oxydant dans un premier temps, l'antioxydant ensuite. »



ISABELLE PEZRON

Les crèmes cosmétiques, la mousse au chocolat, les peintures... De nombreux produits se composent d'au moins deux phases non miscibles, dont l'association génère une émulsion (une dispersion de gouttelettes dans un autre liquide), une mousse (une dispersion de bulles de gaz dans un liquide ou un solide) ou une suspension (une dispersion de particules solides dans un liquide ou un gaz).

Au laboratoire transformations intégrées de la matière renouvelable (TIMR) de l'UTC, l'équipe interfaces et milieux divisés s'intéresse aux phénomènes se produisant aux interfaces entre ces phases. « Un système dispersé tend à revenir plus ou moins rapidement vers un état dans lequel les deux phases sont séparées, explique Isabelle Pezron, professeur dans cette équipe. Dans le cas d'un produit fini, telle une émulsion cosmétique, il faut retarder au maximum cette séparation. Très souvent, on ajoute pour cela des composés tensioactifs. À la fois hydrophiles (affinité avec l'eau) et lipophiles (affinité avec l'huile), ces composés ont en effet la capacité de s'adsorber (se fixer) aux interfaces (par exemple à la surface de gouttes d'eau dispersées dans de l'huile), en formant un film protecteur. De ce fait, ils facilitent la formation et la stabilisation des dispersions, ce qui leur confère des propriétés fonctionnelles très intéressantes : moussante, émulsifiante, détergente... Dans d'autres applications, il s'agit au contraire d'accélérer la séparation des phases. C'est le cas des émulsions de productions pétrolières, qu'il faut casser pour récupérer des phases eau et pétrole les plus pures possibles, ou des mousses se formant lors du traitement biologique des eaux usées. Nous cherchons alors à fragiliser le film interfacial. »

Pour réduire l'impact environnemental des produits, on s'oriente de plus en plus vers le développement de tensioactifs biosourcés, issus de matière renouvelable végétale ou produits par des micro-organismes. Un domaine dans lequel TIMR est très actif, notamment dans le cadre du programme de recherches de l'Institut Pivert\* (un des Investissements d'avenir). « Notre objectif est de mieux comprendre les liens entre la structure moléculaire des tensioactifs biosourcés et leurs propriétés, souligne Isabelle Pezron. L'intérêt est de pouvoir identifier en amont les molécules qui remplaceront efficacement les tensioactifs issus de la chimie du pétrole, tout en limitant les expérimentations longues et fastidieuses. »

\* Pivert : Picardie innovations végétales, enseignements et recherches technologiques



CLAIRE ROSSI

## Jeu de formulations pour une alimentation saine

Chercheuse au laboratoire génie enzymatique et cellulaire (GEC) de l'UTC, Claire Rossi étudie les bénéfices pour la santé des actifs d'origine végétale présents dans l'alimentation : les propriétés antitumorales de certains pigments, la capacité des pectines de pomme à prévenir les calcifications vasculaires... Mais elle met aussi ses connaissances au profit de la recherche appliquée, avec une ligne directrice : promouvoir une nourriture saine... mais gourmande ! C'est l'enjeu de la plate-forme science des aliments du centre d'innovation de l'UTC.

« Ce plateau technique dédié à la formulation de produits alimentaires innovants sert en particulier aux transferts de technologies vers l'industrie, explique la jeune femme. Avec un partenaire industriel, nous avons par exemple conçu un plat à la fois goûteux et adapté aux besoins nutritionnels des personnes âgées, et des pâtes à tartiner allégées. Avec une start-up, nous créons des repas complets à boire, notamment destinés aux actifs qui n'ont pas le temps de déjeuner ou aux sportifs. Le repas se présente sous la forme d'une poudre à mélanger avec de l'eau, qui offre tous les apports nutritionnels nécessaires, mais aussi des propriétés gustatives attrayantes, avec toute une gamme d'aromatisations différentes. »

Autant d'innovations qui font une place de choix aux composants végétaux : dérivés d'algues ou de plantes tel le maïs employés comme substituts aux matières grasses ; fibres et protéines végétales utilisés pour améliorer le profil nutritionnel des produits... « Sur un repas, nous avons une trentaine de critères nutritionnels à respecter, souligne Claire Rossi. Il faut réguler chacun des ingrédients pour que leur somme y réponde exactement, tout en tenant compte de critères de goût et de texture, ce qui est complexe. Pour parvenir à la solution optimale, nous faisons des essais en testant tout un jeu de formulations et nous utilisons des traitements statistiques pour définir dans quelle plage de quantités peut se situer chaque ingrédient pour obtenir le goût, la texture et le profil nutritionnel visés. »

Éclair sans sucre ni gluten ; crème glacée allégée en matière grasse, sans œuf ni sucre ajouté ; hachis parmentier végétarien mimant le goût et la texture de viande... : la plate-forme permet aussi de former les étudiants de l'UTC à la formulation d'aliments innovants. Et, chaque été, elle accueille une école internationale : des étudiants du monde entier y revisitent des plats de la gastronomie française pour améliorer leur profil nutritionnel, là encore sans altérer leurs vertus gustatives.



FRÉDÉRIC MARIN

## Kinematics of the human body

---

Chercheur au laboratoire biomécanique et bioingénierie (BMBI) de l'UTC, Frédéric Marin explore la biomécanique des mouvements du corps humain. Son outil de travail : une plate-forme de capture de mouvement (MoCap) de trente-six caméras, permettant la captation de marqueurs rétro réfléchissants placés sur un individu, afin d'obtenir les cinématiques de ses segments corporels en trois dimensions. « Quantifier la cinématique du corps permet d'obtenir un indicateur sur l'état de santé ou la performance du système neuromusculosquelettique », explique ce scientifique, dont les travaux concernent trois types d'applications.

Côté clinique, il s'agit d'optimiser l'évaluation fonctionnelle des patients. Dans le cadre de l'institut Faire Faces (une structure dédiée à la chirurgie maxillo-faciale et à la prise en charge des cas de défiguration, associant notamment le CHU d'Amiens et l'UTC), il travaille ainsi sur la biomécanique du visage : « nous quantifions la reprise fonctionnelle après une paralysie faciale, due par exemple à un AVC, ou après une transplantation du visage, le tout pour bâtir un référentiel des mouvements de la face qui servira à ajuster au mieux la rééducation des patients. »

Second champ d'application : l'ergonomie. Sur ce front, le chercheur étudie entre autres les mouvements qui peuvent être source ou conséquence de troubles musculosquelettiques. Dans un tout autre registre, il a aussi contribué au projet Mandarin, qui réunissait plusieurs partenaires dont le CEA et Renault : « l'objectif était de concevoir un gant haptique permettant d'assembler les pièces virtuelles d'une maquette numérique en ayant les mêmes sensations de toucher et de retour d'effort que s'il s'agissait de pièces réelles. Nous avons analysé la biomécanique des mouvements de la main pour y adapter le gant, puis validé qu'il n'y avait pas d'interférences entre le gant et la main. »

Enfin, troisième domaine d'investigation : le mouvement en tant que vecteur culturel. Aux côtés d'ethnomusicologues, Frédéric Marin participe au programme geste - acoustique - musique du collegium Musicae de Sorbonne Universités (le groupement d'universités dont fait partie l'UTC). Objectif : mesurer la gestuelle de musiciens experts et non experts de différents groupes ethnoculturels, afin de mieux comprendre ce qui différencie les virtuoses des autres et en quoi leur jeu (par exemple, leur manière de poser les doigts sur l'instrument) peut varier selon les cultures.



DOMINIQUE LENNE

## Ludification

Comment donner au public et surtout aux jeunes l'envie d'approfondir leur culture artistique en visitant un musée ? Pour Dominique Lenne, chercheur au laboratoire heuristique et diagnostic des systèmes complexes (Heudiasyc) de l'UTC, la réponse passe entre autres par la ludification : l'intégration d'une dimension ludique dans les audioguides.

C'est une des voies explorées dans le cadre du projet CIME (Contextual Interactions for Mobility in Education), qu'il a coordonné : « les audioguides actuels sont loin d'exploiter toutes les possibilités offertes par les technologies de l'information et de la communication pour favoriser l'apprentissage informel. L'objectif premier de CIME était donc d'étudier une application plus évoluée, sur tablette ou smartphone, qui propose au visiteur un parcours sur mesure en fonction de ses centres d'intérêt et du contexte : par exemple, s'il s'arrête devant une peinture, elle lui recommande d'autres œuvres du musée en lien avec ce tableau. Mais, pour rendre cet outil encore plus attractif et propice à l'apprentissage, nous y avons ajouté un jeu, avec des QCM sur l'art. Tout comme le parcours suggéré au visiteur, le questionnaire n'est pas prédéterminé : il se construit de façon dynamique et personnalisée selon les œuvres qu'il a déjà vues et celles qui s'en rapprochent, mais aussi selon ses réponses, qui déterminent le niveau de difficulté du jeu. »

CIME s'appuie pour cela sur une ontologie : une représentation des connaissances sur l'art intelligible par une machine, qui a la forme d'une arborescence et dont les branches correspondent aux liens entre les informations (tel tableau a été peint à telle date par tel artiste, qui appartient à telle école stylistique...). « L'un des enjeux du projet était de développer des mécanismes de calcul permettant de rapprocher différentes œuvres et artistes figurant dans l'ontologie et d'établir, par exemple, que Léonard de Vinci est plus proche de Raphaël que de Van Gogh, explique Dominique Lenne. C'est grâce à ces calculs que l'outil peut aiguiller le visiteur vers des tableaux en rapport avec ceux qui l'ont intéressé et lui poser des questions pertinentes par rapport au contexte. »

Financé par l'ex-région Picardie, CIME, qui associait l'UTC, l'université de Picardie Jules Verne, le musée du Palais impérial de Compiègne et le service patrimoine et tourisme d'Amiens métropole, s'est achevé fin 2016. Il a fait l'objet d'un démonstrateur et pourra donner lieu à des applications pour la découverte de musées, mais aussi de sites touristiques.



CHRISTINE PRELLE

## Microsystèmes pour micro-usines

Imaginez une ligne de production miniature conçue pour fabriquer ou assembler de minuscules pièces, tels de petits engrenages d'horlogerie ou des microcomposants électroniques. Une "usine" dont la taille serait à l'échelle des éléments qu'elle fabrique, qui se transporterait d'un site à l'autre, permettrait d'automatiser des tâches manuelles fastidieuses, de produire de façon flexible de très petites séries customisées...

« Pour l'instant, les recherches sur ce concept portent principalement sur les micromachines de production, note Christine Prelle, du laboratoire mécanique, acoustique et matériaux (Roberval) de l'UTC. Notre équipe a choisi de se concentrer sur d'autres briques de la micro-usine. » À son actif : une micromachine de mesure tridimensionnelle sans contact pour contrôler les cotes des composants fabriqués – technologie jusqu'à présent inaccessible pour de toutes petites pièces de l'ordre du millimètre cube. Mais aussi un microsystème de convoyage des pièces entre les machines, qui offre l'avantage de la flexibilité. « Sa trajectoire n'est pas prédéfinie, mais programmée avec un logiciel en fonction des besoins, souligne la chercheuse. Selon les pièces à produire, il peut par exemple aller de la machine A à la B puis à la C ou directement de A à C. Ou encore revenir en arrière pour rapporter à la machine d'usinage des pièces sur lesquelles la machine de mesure a détecté des défauts et qu'il faut retoucher. »

Parce qu'il est difficile de câbler des systèmes de très petite taille, l'équipe étudie également des technologies sans fil innovantes pour actionner micromachines et microconvoyeurs. « Nous travaillons sur des actionneurs en alliage à mémoire de forme, explique Christine Prelle. Ils se déforment lorsqu'on leur applique un effort, mais retrouvent leur forme initiale quand on les chauffe et, ce faisant, actionnent le système. Pour les déclencher sans connectique, nous les chauffons à distance par laser et nous fonctionnalisons le matériau des actionneurs avec des filtres optiques pour qu'ils ne soient sensibles qu'à certaines longueurs d'ondes de laser : si le laser émet une radiation rouge, par exemple, l'actionneur dont le filtre bloque cette couleur ne réagit pas ; celui dont le filtre bloque une autre couleur se met en marche. » Une approche originale que Roberval doit à la présence de spécialistes de photonique dans ses rangs.



## Résonance magnétique Nucléaire

Sonder l'infiniment petit. C'est l'objet de la résonance magnétique nucléaire (RMN), une technique spectroscopique qui exploite les propriétés magnétiques de certains noyaux d'atomes pour fournir des informations sur les molécules.

Chercheuse au laboratoire génie enzymatique et cellulaire (GEC), Luminita Duma en est une spécialiste. Elle développe de nouvelles applications de la RMN, notamment pour l'étude des protéines membranaires : « ces protéines constituent des portes dans la membrane des cellules des organismes vivants. À travers elles, des nutriments, des ions, des déchets peuvent pénétrer dans la cellule ou la quitter, ce qui garantit son intégrité et son bon fonctionnement. Elles jouent donc un rôle clé dans la fonction cellulaire et leurs anomalies sont à l'origine de nombreuses maladies, ce qui en fait des cibles très intéressantes pour les médicaments. La RMN est une technique prometteuse pour caractériser ces molécules difficiles à étudier. Elle peut apporter des informations sur leur structure dans l'espace (la position des atomes qui les composent) : ces données sont indispensables pour concevoir des médicaments plus efficaces, or, aujourd'hui, nous ne connaissons la structure que de 1 % des protéines membranaires. Elle permet également d'explorer leur dynamique locale (comment les noyaux bougent-ils ?), ce qui est essentiel pour mieux comprendre la fonction de la protéine. »

Luminita Duma s'intéresse en particulier à la TSP0 (translocator protein), une protéine membranaire principalement exprimée dans les cellules synthétisant les hormones stéroïdiennes (corticoïdes, hormones sexuelles, etc.), dont le cholestérol est un précurseur : « cette spécificité indique qu'une de ses fonctions est de transporter le cholestérol dans les cellules. Je souhaite donc mettre au point un protocole d'étude par RMN permettant non seulement de déterminer la structure de la TSP0, mais aussi d'analyser la mobilité des noyaux de la molécule en la présence et en l'absence du cholestérol, pour confirmer son rôle dans le transport de cette substance. »

Pour cela, il faut d'abord exprimer la protéine par culture bactérienne et ensuite concevoir un modèle membranaire : une membrane simplifiée, composée d'une bicouche de différents lipides mimant la membrane réelle des cellules, afin d'y incorporer la protéine. C'est le premier défi du projet, car il s'agit de reconstituer l'environnement dans lequel la protéine aura la conformation et le comportement les plus proches possibles de ceux qu'elle a dans le milieu vivant.



DAN ISTRATE

## Objets biomédicaux connectés

Balance connectée pour surveiller son indice de masse corporelle, bracelet connecté pour mesurer son pouls et les calories brûlées lors d'un jogging... Dans le champ de la santé, les applications de l'Internet des objets se cantonnent avant tout à l'hygiène de vie. Au laboratoire biomécanique et bioingénierie (BMBI) de l'UTC, Dan Istrate et son équipe travaillent à les étendre au suivi médical des patients à distance. « C'est un domaine très prometteur, dont l'enjeu est triple, explique le chercheur : améliorer la prise en charge des personnes, tout en leur permettant de vivre le plus normalement possible et notamment d'éviter les hospitalisations, ce qui contribuera aussi à maîtriser les dépenses de santé. »

Parmi les innovations à l'étude : des dispositifs assurant la télésurveillance des troubles de la déglutition consécutifs à un AVC ou bien celle des contractions de l'utérus d'une femme présentant un risque d'accouchement prématuré. Mais aussi des systèmes de capteurs placés dans l'environnement d'une personne âgée pour télédétecter au plus vite les situations de détresse : malaise, chute... Sans compter un jeu sérieux grâce auquel un patient pourra faire des exercices de rééducation fonctionnelle des membres inférieurs ou supérieurs chez lui, entre deux séances de kinésithérapie.

Ce jeu figure aujourd'hui parmi les projets les plus avancés de l'équipe et repose sur une approche totalement inédite. Les gestes que fait le patient sont enregistrés par une caméra et des accéléromètres placés sur son corps et l'application les compare automatiquement aux mouvements qu'il devrait faire, en s'appuyant sur un modèle de fonctionnement du système neuromusculosquelettique élaboré par les biomécaniciens de BMBI. De ce fait, elle peut le guider pour se corriger.

« Nous l'avons testée auprès de vingt patients du CHU de Limoges et les retours ont été très bons, tant de la part des malades que de celle des kinésithérapeutes, constate Dan Istrate. Jeunes ou moins jeunes, les utilisateurs ont apprécié le côté ludique de l'outil, qui permet de se rééduquer sans s'en rendre compte. Et, à mesure du jeu, ils ont amélioré leurs performances. » Avantage supplémentaire : à terme, le jeu étant connecté, le kinésithérapeute pourra suivre les progrès de son patient et choisir les exercices à lui proposer à distance.



YANNICK ROSSEZ

## P

# athogénicité

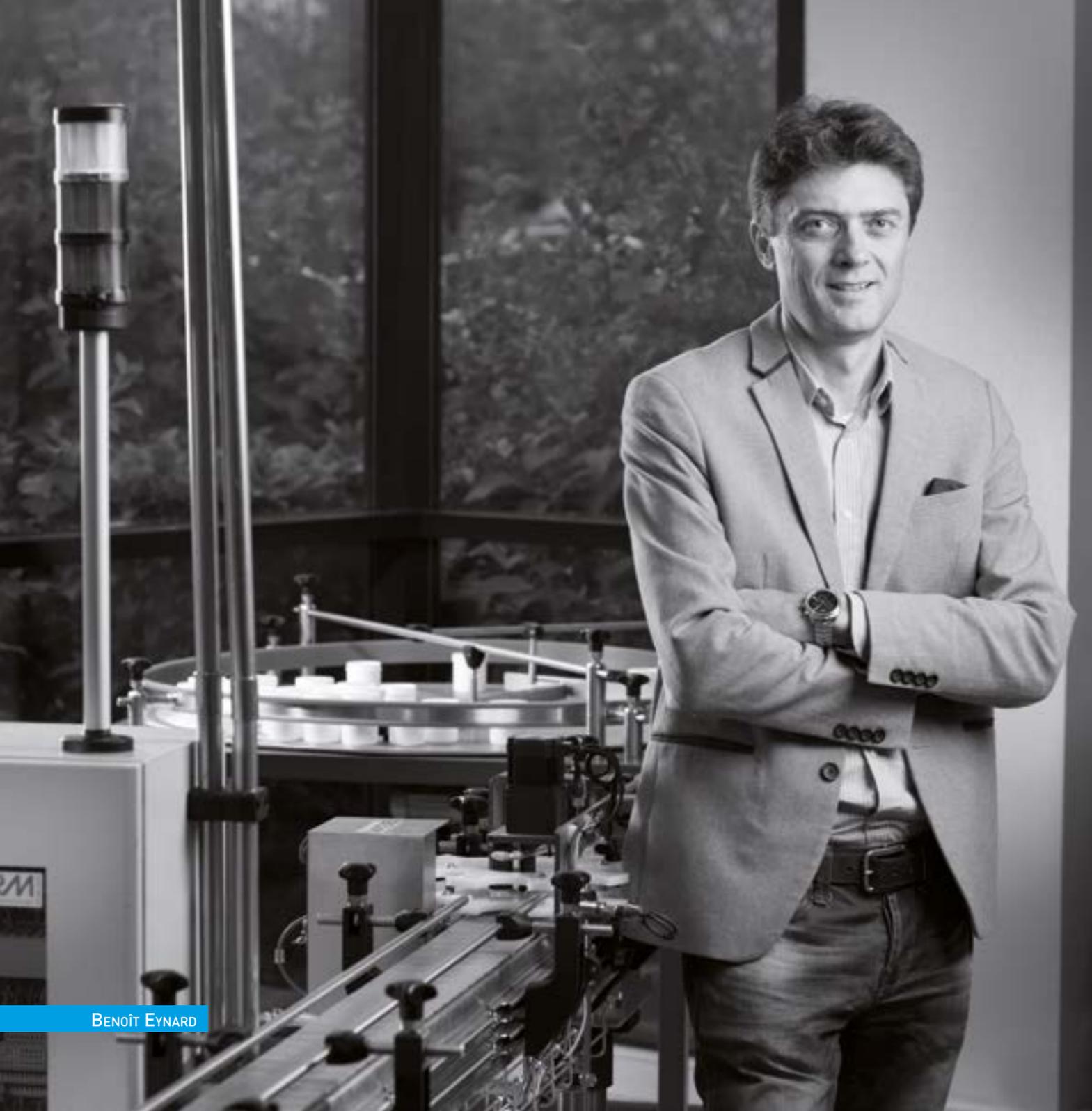
---

La résistance croissante des bactéries aux antibiotiques figure parmi les menaces les plus graves pesant sur la santé de la population mondiale : à l'horizon 2050, si rien n'est fait pour l'enrayer, elle pourrait entraîner quelque dix millions de décès par an sur la planète\*, davantage que toutes les formes de cancers réunies.

Au laboratoire génie enzymatique et cellulaire (GEC) de l'UTC, Yannick Rossez travaille sur cet enjeu majeur. Son ambition ? Trouver une alternative à ce type de traitements : « les bactéries, qui ont des milliards d'années d'adaptation derrière elles, sont capables de développer en permanence de nouvelles stratégies pour survivre. Plutôt que d'essayer de les tuer avec des antibiotiques auxquels elles parviennent à s'adapter de plus en plus vite, l'idée est de les empêcher de devenir pathogènes. »

Concrètement, pour provoquer une maladie, il faut d'abord que les micro-organismes adhèrent à un tissu cellulaire, qu'ils vont ensuite coloniser en se multipliant et en se collant les uns aux autres. Ils forment alors un biofilm qui contribue également à leur survie. Car non seulement les antibiotiques se heurtent à la résistance naturelle des bactéries, mais elles ne peuvent pas atteindre toutes celles qui composent le biofilm. « Pour empêcher ce processus, la solution la plus efficace serait de le bloquer dès sa phase initiale, explique Yannick Rossez. Autrement dit, de chasser les micro-organismes avant qu'ils n'adhèrent au tissu, ce qui suppose de bien comprendre les mécanismes en jeu. Certaines bactéries, par exemple, disposent de flagelles : de petits tentacules leur permettant de se mouvoir dans un milieu liquide, mais aussi de sonder un support et de s'y accrocher. Nous étudions le mécanisme de pénétration du flagelle dans un tissu, mais aussi l'évolution du métabolisme de la bactérie lorsqu'elle adhère au tissu pour voir si elle libère des molécules spécifiques. Ensuite, il s'agira de synthétiser des molécules chimiques résistantes capables d'inhiber ce processus et face auxquelles les bactéries auront beaucoup plus de mal à développer une stratégie d'adaptation que lorsqu'on cherche à les tuer avec un antibiotique. »

\* Source : The review on antimicrobial resistance, sous la direction de Jim O'Neill, mai 2016.



BENOÎT EYNARD

## Quatrième révolution industrielle

Les français parlent d'industrie du futur, les allemands d'industrie 4.0... Car c'est bien une quatrième révolution industrielle qui s'annonce : celle de la transformation numérique de l'industrie. Entre autres enjeux : gagner en agilité pour mettre plus vite sur le marché des biens toujours plus innovants et performants, mais aussi produire à moindre coût, y compris de très petites séries.

Au laboratoire mécanique, acoustique et matériaux (Roberval), Benoît Eynard et son équipe mènent des recherches sur un des piliers de cette révolution : la continuité numérique de l'information. « Nous concevons des solutions contribuant à fluidifier les échanges de données numériques entre métiers, en particulier dans l'ingénierie et l'industrialisation, précise le chercheur : des outils permettant de transformer des données en connaissances et de mieux capitaliser les expertises pour travailler de manière plus efficace et coordonnée. »

Le projet Lucid (laboratoire d'usinage par caractérisation intelligente des données), qui réunit plusieurs partenaires, en est une illustration. Sa finalité : faciliter le travail des programmeurs de machines-outils qui, à partir du modèle 3D d'une pièce, élaborent sa stratégie d'usinage (choix des outils coupants, définition de leurs trajectoires...) et la transposent en un programme pilotant une machine-outil. Cette tâche est en effet complexe et, quoiqu'il existe des logiciels pour simuler et valider virtuellement un programme d'usinage, il faut généralement usiner un certain nombre de pièces réelles avant de parvenir au résultat recherché. « Lucid vise à usiner la bonne pièce du premier coup afin de réduire les délais et les coûts d'industrialisation », explique Benoît Eynard. Pour cela, il s'agit de concevoir un système qui, en comparant le modèle 3D de la pièce à fabriquer aux pièces de même type qu'un industriel a pu réaliser par le passé, proposera automatiquement les meilleures stratégies d'usinage. Un objectif ambitieux, car il suppose de reconstituer l'historique des programmes d'usinage de l'industriel en faisant parler des données peu explicites, provenant de fichiers hétérogènes. C'est ce sur quoi travaille Roberval.

« Ce projet est emblématique de notre vision de la transformation numérique de l'industrie, souligne Benoît Eynard. Les activités répétitives seront certes de plus en plus automatisées, mais les tâches complexes ne pourront pas l'être et les humains continueront à jouer un rôle central. En revanche, il est possible de leur fournir des outils d'aide à la décision. C'est un axe clé des travaux de l'UTC sur l'industrie du futur. »



MANUELLA SECHILARIU

## Réseaux électriques intelligents

En ville, la transition énergétique devrait passer par la multiplication des panneaux photovoltaïques, voire des microéoliennes, et des véhicules électriques. Problème : « le réseau électrique national n'a pas été conçu pour absorber l'énergie provenant d'une multitude de sources décentralisées et intermittentes et ne pourra pas résister aux pics de consommation que provoquerait la recharge simultanée de millions de voitures en journée, souligne Manuela Sechilariu, directrice du laboratoire modélisation multi-échelle des systèmes urbains (Avenues) de l'UTC. La seule solution est de consommer sur place l'électricité renouvelable produite localement, y compris pour la charge des véhicules. C'est l'enjeu des microréseaux électriques intelligents sur lesquels nous travaillons. »

À l'UTC, Avenues a mis en place un réseau de ce type à l'échelle d'un bâtiment. Il associe une microéolienne, des panneaux photovoltaïques, un générateur diesel et des moyens de stockage de l'électricité. Mais, surtout, il s'appuie sur des outils informatiques permettant de prédire la consommation et la production éolienne et solaire en fonction des prévisions météo, et de réguler intelligemment l'offre et la demande en temps réel : alimenter au maximum le bâtiment avec l'électricité renouvelable, stocker les surplus plutôt que les injecter sur le réseau de distribution, puiser dans les batteries ou déclencher le générateur diesel quand les sources intermittentes font défaut... Et ne basculer la charge sur le réseau national qu'en dernier recours, de préférence aux heures où l'électricité est moins chère.

« L'objectif, avec cette plate-forme, est de tester la faisabilité des microréseaux intelligents, explique Manuela Sechilariu. Pour l'instant, une des principales difficultés concerne les modèles des météorologistes. Les prévisions d'irradiation solaire, par exemple, sont loin d'être assez précises pour optimiser en temps réel la conduite d'un microréseau intégrant une production photovoltaïque. »

Avenues a également étendu l'expérimentation à la recharge des véhicules électriques, avec un second microréseau alliant une ombrière photovoltaïque installée sur neuf places d'un parking de l'UTC et des moyens de stockage. Là encore, il s'agit de développer une interface intelligente pour privilégier l'utilisation de l'électricité solaire, mais aussi pour communiquer avec les propriétaires des véhicules et savoir s'ils acceptent de passer de charge rapide en charge moyenne ou lente quand la production photovoltaïque n'est pas suffisante ou que le tarif de l'électricité du réseau national est élevé.



WALTER SCHÖN

## Sûreté de fonctionnement

Maîtriser les comportements des systèmes technologiques pour éviter les défaillances préjudiciables à leur fiabilité, à leur disponibilité et plus encore à leur sécurité. C'est tout l'enjeu de la sûreté de fonctionnement... « Et un des grands défis du véhicule autonome, souligne Walter Schön, chercheur au laboratoire heuristique et diagnostic des systèmes complexes (Heudiasyc) de l'UTC. Sauf à rouler en site propre, ces voitures devront en effet gérer des situations complexes, particulièrement en ville : prendre les bonnes décisions face à un flot hétérogène de véhicules et à toutes sortes d'imprévus (un deux-roues qui grille un feu, un piéton qui traverse au rouge...). Pour cela, leur système de pilotage automatique fera appel à de l'intelligence artificielle. Or, garantir la sûreté d'un logiciel à base d'intelligence artificielle reste très compliqué. »

Heudiasyc, qui a fait du véhicule autonome un de ses thèmes prioritaires de recherche, s'est attaqué à cette problématique clé. Objectif ? Analyser la conception de systèmes de ce type avec des méthodes appropriées, pour proposer si besoin des adaptations renforçant leur sûreté de fonctionnement. Mais aussi étudier un composant de sécurité indépendant du pilote automatique, qui surveillerait son comportement et interviendrait en cas de problème : par exemple, en empêchant le véhicule d'accélérer s'il a atteint la vitesse limite.

Un challenge, car un tel dispositif devra pouvoir détecter des situations dangereuses là aussi extrêmement variées et souvent complexes : un changement de file risqué, une vitesse trop élevée à l'approche d'un obstacle... « Pour l'instant, nous sommes très très loin du but, reconnaît Walter Schön. On peut certes considérer qu'en cas de défaillance du pilote automatique, l'automobiliste reprendra la main. Mais si la situation est vraiment périlleuse, il ne parviendra pas forcément à maîtriser le véhicule. De plus, à partir du moment où il délèguera la conduite à un système robotique, il sera sans doute moins vigilant que s'il conduisait lui-même. À mes yeux, en tous cas, les véhicules autonomes resteront inacceptables tant qu'ils ne feront pas mieux que l'humain en toutes circonstances. Et nous avons encore bien des verrous à lever pour y parvenir. »



ANNE-VIRGINIE SALSAC

## Thérapies vasculaires

Leur champ d'investigation : la biomécanique des fluides appliquée à la santé. En couplant simulations numériques et travaux expérimentaux, Anne-Virginie Salsac et son équipe du laboratoire Biomécanique et bio-ingénierie (BMBI) modélisent les écoulements sanguins de la microcirculation à l'hémodynamique dans les grands vaisseaux, et mettent au point des technologies innovantes, pour le traitement endovasculaire et la caractérisation mécanique parmi d'autres. L'enjeu ? « Comprendre les écoulements tant physiologiques que pathologiques, et contribuer au développement et à l'optimisation de techniques de diagnostic et de traitement thérapeutique par voie vasculaire », explique la chercheuse.

L'équipe travaille en effet sur les thérapies endovasculaires, qui consistent à amener des dispositifs biomédicaux jusqu'à une zone cible via les vaisseaux sanguins pour permettre un traitement localisé et peu invasif. « Nos recherches portent notamment sur l'utilisation de microcapsules comme vecteurs pour transporter des substances actives et sur l'étude de leur comportement lorsqu'elles interagissent avec des écoulements physiologiques », détaille Anne-Virginie Salsac. Comment se déforme leur enveloppe sous l'effet des forces de l'écoulement ? Comment contrôler le relargage de la substance encapsulée en agissant sur les propriétés mécaniques de l'enveloppe ? Comment stimuler sa rupture, par exemple au moyen d'ultrasons ? Les techniques sophistiquées de modélisation et caractérisation que nous développons ouvrent la voie à une optimisation des microcapsules pour chacune des applications envisagées. »

L'équipe travaille aussi sur d'autres techniques thérapeutiques comme l'embolisation endovasculaire de vaisseaux anormaux ou rompus nécessitant d'être obstrués. « Nous avons lancé un projet sur l'utilisation clinique de colles chirurgicales pour traiter des pathologies vasculaires », précise Anne-Virginie Salsac. L'injection de colle est classique en pratique clinique, mais n'a fait l'objet que de peu d'études fondamentales. Des questions scientifiques restent ouvertes, quant à la réaction de la colle au contact du sang, le temps nécessaire à sa polymérisation, l'influence de l'écoulement sanguin, etc. Pour une meilleure maîtrise du geste thérapeutique, il est nécessaire de mieux comprendre ces phénomènes très complexes. »

Les recherches pluridisciplinaires d'Anne-Virginie Salsac et de ses collaborateurs sur l'étude des écoulements sanguins et de la dynamique de microcapsules sont mondialement reconnues et ont permis à la jeune chercheuse d'être honorée de plusieurs prix et distinctions, dont la médaille de bronze du CNRS et deux trophées des Femmes en Or, ceux de l'innovation et du public, en 2015, la médaille de l'Ordre National du Mérite en 2016 et une bourse ERC Consolidator en 2017.



JÉRÔME VALLUY

## Usages sociaux des technologies

Entre les promesses du numérique en matière de pédagogie et l'usage réel des outils proposés, il existe souvent... un fossé. « Sur les grandes plate-formes de MOOCs, par exemple, la part des inscrits abandonnant avant d'avoir validé leur formation avoisine les 90 %, observe Jérôme Valluy, du laboratoire connaissance, organisation et systèmes techniques (Costech) de l'UTC. Mais ce constat ne doit pas conduire à renoncer à toute innovation technologique dans l'enseignement. »

Depuis deux ans, ce chercheur explore ainsi une nouvelle voie : réinventer le manuel universitaire. « Aujourd'hui, les étudiants lisent beaucoup en ligne, mais avant tout des textes courts. Non seulement ils ont peu d'appétence pour les développements plus étoffés, ce qui pose problème à partir d'un certain niveau d'études, mais, sur Internet, il existe peu de livres en libre accès. D'où l'idée de développer un prototype de manuel numérique destiné à les accompagner de la première année de licence à la fin du master. »

Intitulé Transformations des États démocratiques industrialisés, l'ouvrage est consacré à la science politique, discipline que Jérôme Valluy enseigne à l'université Panthéon-Sorbonne, et comportera à terme quelque cinq millions de signes : l'équivalent d'une dizaine de livres, rassemblant notamment l'ensemble de ses travaux depuis une trentaine d'années (thèse de doctorat, cours, publications...).

Pour être utilisables en licence et en master, les contenus sont distribués par niveaux (L1, L2, L3, M1, M2) et par thématiques. Un même texte peut ainsi figurer au niveau L2 et s'insérer dans un développement plus détaillé à la thématique correspondante. Par ailleurs, pour en faciliter l'accès et permettre aux étudiants d'approfondir un sujet, les contenus seront peu à peu enrichis d'éléments iconographiques, de définitions, voire de courtes vidéos, mais aussi de références bibliographiques, d'articles, d'extraits de livres ou encore de liens vers des ouvrages en version intégrale. « Outre un manuel, l'objectif est de leur proposer une sorte de bibliothèque organisée sur une thématique spécifique, qui leur évite de se noyer dans l'océan du web en libre accès », explique le chercheur.

Qu'il s'agisse d'explorer comment scénariser les contenus pour faciliter les apprentissages ou comment articuler cours en présentiel et travail personnel sur le manuel, Jérôme Valluy dispose d'un terrain d'expérimentation privilégié : ses étudiants de l'université Panthéon-Sorbonne, avec lesquels il teste les usages de son prototype.

Pour consulter le prototype du manuel : <http://www.hnp.terra-hn-editions.org/TEDI/>



VINCENT FRÉMONT

## Vision par ordinateur

Donner des "yeux" à un robot. Lui permettre d'analyser, traiter et comprendre des images acquises avec des caméras pour qu'il puisse décider comment agir : c'est l'objet de ce qu'on appelle la vision par ordinateur. Un sujet au cœur des recherches sur les véhicules sans conducteur, mais aussi sur les minidrones autonomes, dont les applications civiles devraient se multiplier : surveillance de sites sensibles, inspection d'infrastructures telles que des voies ferrées, détection de feux de forêt, aide au sauvetage...

« La difficulté, c'est qu'un minidrone ne peut pas embarquer une batterie et un ordinateur très puissants, note Vincent Frémont, chercheur au laboratoire heuristique et diagnostic des systèmes complexes (Heudiasyc) de l'UTC. Ses capacités de traitement d'images sont donc limitées. D'où l'idée d'utiliser une flotte de drones mutualisant leurs moyens de calcul pour reconstruire leur environnement en 3D. » Une approche innovante, qui fait l'objet d'un grand projet : le Défi Divina, mené dans le cadre du Laboratoire d'excellence Maîtrise des systèmes de systèmes technologiques (MS2T), qui associe trois unités de recherche de l'UTC dont Heudiasyc.

L'enjeu ? Faire coopérer des minidrones pour explorer et cartographier en 3D un territoire inconnu, sans le support du GPS pour se localiser. Parmi les applications possibles : la reconnaissance d'une zone dévastée par un tremblement de terre ou toute autre catastrophe et dont les antennes GPS auraient été détruites, afin d'organiser les secours. « Les drones seront équipés de caméras pour se localiser les uns par rapport aux autres, naviguer et cartographier leur environnement, explique Vincent Frémont, qui pilote le projet. Leurs capacités de calcul étant restreintes, chacun ne pourra en reconstruire qu'une partie. Mais ils disposeront de moyens de communication pour échanger les données traitées indépendamment les uns des autres, ce qui leur permettra d'élargir leur champ de vision et de cartographier l'ensemble de la zone visée. »

Un objectif qui suppose de relever plusieurs challenges. Entre autres, développer des algorithmes de traitement d'images très économes en temps de calcul. Mais aussi déterminer les informations les plus importantes à échanger entre drones, afin de minimiser les temps de calcul et de ne pas saturer le réseau de communication.

Ils rédigent les contenus, les corrigent, traquent les contre-vérités et autres malveillances... Archétype du nouveau mode de création de valeur qu'est l'économie contributive, Wikipédia mobilise des centaines de milliers de bénévoles dans le monde. Qui sont-ils, quelle flamme les anime ? Pour le savoir, le laboratoire connaissance, organisation et systèmes techniques (Costech) de l'UTC et Télécom Bretagne ont dressé le portrait sociologique des acteurs du site francophone de l'encyclopédie et modélisé les scénarios de contribution : comment et pourquoi certains d'entre eux contribuent fortement à Wikipédia quand d'autres n'y participent que très faiblement ou se contentent de l'utiliser ?

« Nous avons travaillé avec Wikimedia France, l'association légale du site en France, qui, voyant le nombre de contributeurs baisser, s'interrogeait sur leur profil et leurs motivations, explique Michaël Vicente, sociologue à Costech. En 2011, nous avons mis en ligne un premier questionnaire qui a suscité plus de 13 000 réponses exploitables, dont plus de 5 000 émanant de contributeurs et le reste d'utilisateurs. Conclusion : les contributeurs sont à 80 % des hommes, plutôt jeunes, très majoritairement issus de catégories socioprofessionnelles élevées et diplômés de l'enseignement supérieur. Parmi eux, on trouve également nombre d'étudiants. Autrement dit, même dans une sphère comme Wikipédia, qui vise à démocratiser la construction du savoir, les barrières sociales et de genre demeurent. Et ce n'est guère surprenant : pour contribuer, il faut des connaissances et des compétences, le niveau d'éducation et la classe sociale sont donc déterminants. Mais le sexe l'est aussi. Avec Hélène Bourdeloie, chercheuse associée de Costech, nous avons pu mettre en avant que si les contributrices sont aussi rares, alors qu'il ne s'agit pas d'une activité technique, c'est plus généralement en raison de la tendance moindre des femmes à revendiquer une expertise. »

Autre constat : les acteurs les plus investis agissent avant tout dans un but altruiste – créer un bien utile à tous et gratuit –, mais ne s'impliquent pas forcément dans la durée. « Beaucoup contribuent fortement sur un temps court pour produire des contenus relevant de leur domaine d'expertise et, ensuite, abandonnent, observe Michaël Vicente. Les contributeurs sur le long terme sont d'ailleurs plus nombreux parmi ceux qui corrigent et mettent en forme les textes ou luttent contre la malveillance. »

Afin de valider ces premiers résultats, les chercheurs ont à nouveau diffusé un questionnaire en 2014. Les résultats se sont révélés comparables.



ADNAN IBRAHIMBEGOVIC

## Structures **X**XL en conditions extrêmes

Comment réussir la conception d'une mégastructure ultra-légère et résistante ? La réponse réside peut-être dans l'utilisation d'un matériau composite CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymere). En 2016, la chaire mécanique de l'UTC a lancé un nouveau projet sur ce sujet. L'objectif : étudier si une mégastructure en CFRP soumise à des contraintes extrêmes tiendrait le choc.

« Deux applications, en particulier, nous intéressent, explique Adnan Ibrahimbegovic, titulaire de la chaire. La première porte sur les éoliennes offshore géantes du futur, qui produiront plus de 10 MW – le double des installations actuelles en Europe. Leurs pales mesureront plus de 100 m. Les fabriquer dans un matériau très léger permettrait d'augmenter la puissance de l'éolienne, mais encore faut-il qu'elles puissent résister à des tempêtes majeures. La seconde application concerne les avions gros porteurs fabriqués en composite extrêmement léger et résistant, ce qui permettrait de dépasser le plus grand avion actuel, l'Airbus A 380, dont les ailes de 80 m sont en aluminium. Ces gros porteurs de demain devraient être équipés d'un système anti-crash placé sous leur nez, capable de redresser l'appareil s'il pique à la verticale après une perte de portance. Or, en pareil cas, les ailes seraient soumises à de très violents efforts aérodynamiques. »

Aucun banc d'essais au monde ne permet de reproduire de telles contraintes sur des structures de cette taille. En revanche, le laboratoire mécanique, acoustique et matériaux (Roberval) est équipé pour produire et tester des éprouvettes en CFRP (des pièces de quelques centimètres). L'équipe va donc d'abord mesurer la résistance à la rupture de ces modèles réduits, et surtout sa variabilité. Tout composite comporte en effet de petits défauts en raison desquels ses propriétés (contrainte de rupture...) peuvent varier d'un point à l'autre d'une pièce et ce, de façon totalement aléatoire. Ensuite, les chercheurs s'appuieront sur le laboratoire de mathématiques appliquées de l'UTC, le LMAC, pour projeter les résultats obtenus sur une structure XXL. « Le mode de rupture de deux pièces réalisées dans un même matériau diffère selon leur taille, souligne Adnan Ibrahimbegovic. Afin de quantifier cet effet d'échelle, nous allons faire appel à de nouvelles méthodes probabilistes permettant de dire comment s'amplifient les risques de rupture sur un élément de 100 m de long. » Une approche inédite pour un projet à fort enjeu.



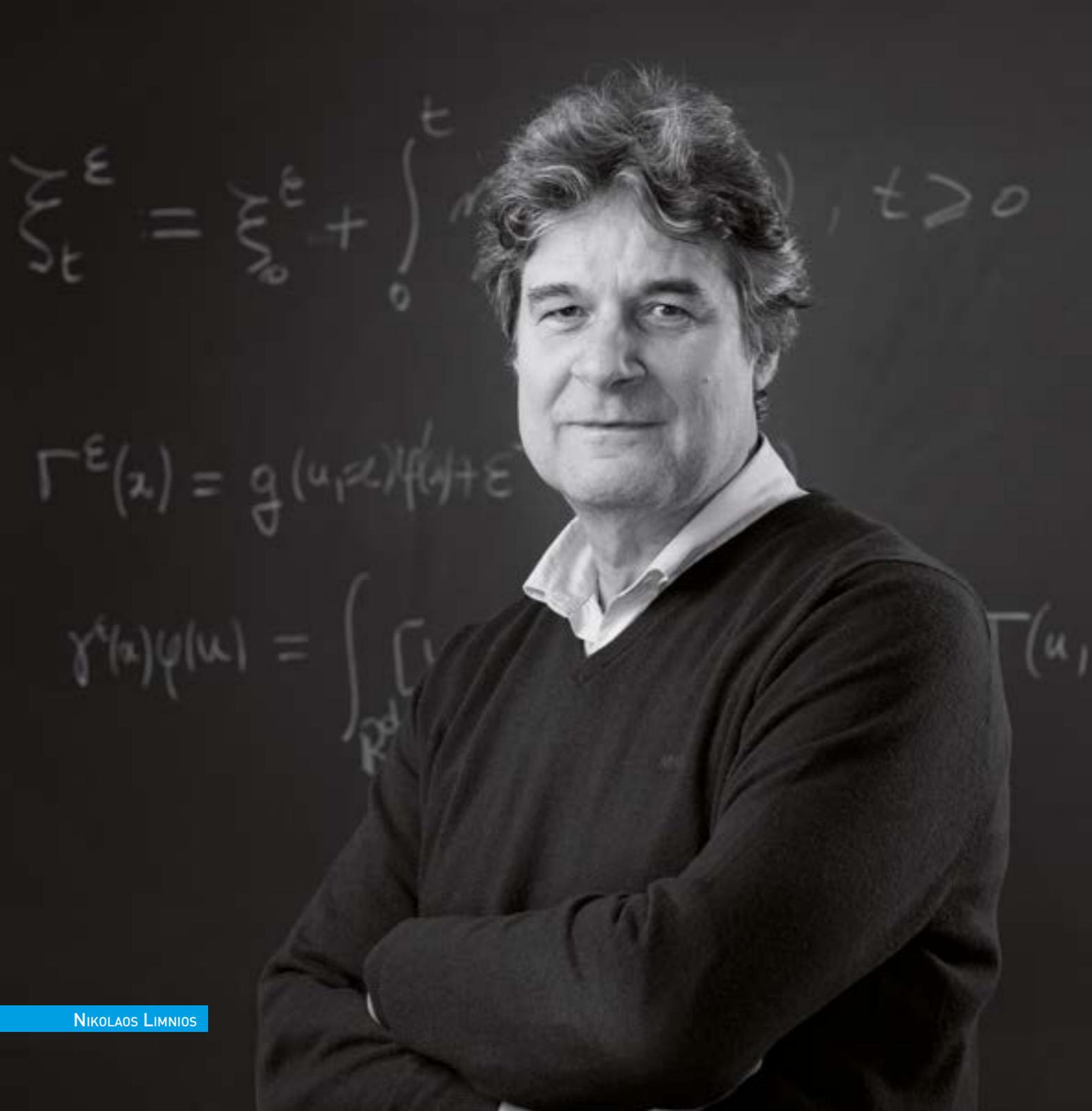
MIKEL LETURIA

## H Ydrogène

Autonomie réduite, lenteur de recharge... Les batteries restent le talon d'Achille des véhicules électriques. L'alternative ? Une pile à combustible produisant de l'électricité à bord, à partir d'hydrogène et de l'oxygène de l'air, sans émettre ni polluants ni CO<sub>2</sub>. Las, pour pouvoir embarquer suffisamment d'hydrogène en phase gazeuse dans le véhicule sans que le réservoir soit trop encombrant, il faut le comprimer fortement, ce qui peut poser des problèmes de sécurité. Un risque qui concerne aussi le stockage de ce gaz dans les stations-services. Sans compter le coût du déploiement de pompes à hydrogène sur tout le territoire.

La société Aaqius a conçu une technologie supprimant ces barrières, Stor-H, et, pour en accélérer le développement, a lancé une thèse Cifre avec le laboratoire transformations intégrées de la matière renouvelable (TIMR) de l'UTC. Le principe : stocker le gaz en phase solide dans une sorte d'éponge à hydrogène – une matrice complexe multimatériau. « C'est un moyen de le conditionner sous une pression beaucoup plus faible – donc sans risque – et dans un volume réduit, explique Mikel Leturia, chercheur à TIMR. Pour l'instant, l'objectif est d'atteindre 90 km d'autonomie sur un scooter électrique, avec des cartouches d'hydrogène de moins de 10 cm de diamètre et environ 20 cm de haut. Mais le concept est transposable à de multiples applications – deux, trois ou quatre-roues. » Autre atout, les cartouches Stor-H n'exigeraient pas d'infrastructure de distribution spécifique : elles pourraient être vendues en supermarché, en ligne, via des distributeurs automatiques...

« Ces cartouches ne sont autres qu'un miniréacteur chimique capable d'absorber et désorber de l'hydrogène, souligne Mikel Leturia. Les recherches menées avec Aaqius visent à optimiser ce dispositif. Elles comportent un volet expérimental destiné à recueillir trois types de données. D'abord, sur la mise en forme de la matrice multimatériau : jusqu'à quel point la compacter pour absorber le plus possible de gaz sans problème pour le relarguer ? Ensuite, sur les aspects thermodynamiques : combien le solide absorbe-t-il et décharge-t-il d'hydrogène selon les conditions de température et de pression ? Enfin, sur les aspects cinétiques : comment évolue la vitesse d'absorption et de désorption selon la pression ? À partir de ces données, nous modéliserons le fonctionnement du réacteur pour le simuler. » Objectif : obtenir une cartouche compacte, stockant un maximum d'hydrogène, se chargeant rapidement et se déchargeant assez vite pour alimenter correctement la pile à combustible.



NIKOLAOS LIMNIOS

## $\frac{d}{dt} Z^\omega(t) = F(Z^\omega(t), X^\omega(t))$ : une équation stochastique

Les mathématiques déterministes permettent de modéliser un phénomène reproductible à l'identique, dont toutes les conditions sont fixées. Mais comment mettre en équations un phénomène aléatoire comme la propagation des fissures dans un matériau ? « Soumettez cinquante pièces métalliques strictement semblables au même protocole d'essai pour mesurer la vitesse à laquelle une fissure s'y propage, vous obtiendrez cinquante résultats différents, souligne Nikolaos Limnios, directeur du laboratoire de mathématiques appliquées de Compiègne (LMAC) de l'UTC. Avec un modèle déterministe, nous n'aurions qu'une seule courbe et nous serions loin de la réalité ! »

C'est là qu'entrent en jeu les mathématiques dites stochastiques ou aléatoires, dont ce chercheur est un spécialiste : « comme leur nom l'indique, elles offrent la possibilité de prendre en compte les phénomènes aléatoires et donc de modéliser le comportement de systèmes complexes de façon plus représentative du réel. Pour les sciences de l'ingénieur, ces méthodes, assez nouvelles et en plein essor, sont une vraie force. »

Leurs domaines d'application sont très variés. Nikolaos Limnios a notamment beaucoup travaillé sur la propagation des fissures, sujet crucial dans nombre de secteurs – du nucléaire à l'aérospatial en passant par le ferroviaire : « grâce aux méthodes stochastiques, il est possible d'estimer plus précisément le risque de rupture d'un matériau en raison de fissures, et donc sa durée de vie. Avec le CEA, nous avons par exemple modélisé la propagation des fissures sur l'enceinte de confinement des réacteurs nucléaires, dans le cadre d'un programme de recherche sur la prolongation de la durée de vie des centrales. »

Dans un tout autre registre, Nikolaos Limnios collabore également avec l'université de Thessalonique sur une problématique de sismologie : « l'objectif est d'explorer les relations entre les variations des tensions au sein de la croûte terrestre et la fréquence et l'intensité des séismes dans une région au cours du temps. Nous avons mis au point des modèles stochastiques très poussés qui mettent en évidence ces liens, plus ou moins forts selon les zones géographiques. »

Aujourd'hui, le chercheur et son équipe sont de plus en plus sollicités par les laboratoires de l'UTC et des acteurs externes pour leur apporter une expertise en calcul stochastique.

## LISTE DES ENSEIGNANTS-CHERCHEURS CITÉS PAR LABORATOIRE

### Heudiasyc

Unité mixte de recherche UMR UTC/CNRS 6599

Yves Grandvalet	9
Dominique Lenne	29
Walter Schön	43
Vincent Frémont	49

---

### Roberval

Unité mixte de recherche UMR UTC/CNRS 6253

Nicolas Dauchez	15
Christine Prella	31
Benoît Eynard	39
Adnan Ibrahimbegovic	53

---

### GEC

Unité mixte de recherche UMR UTC/CNRS 6022

Jeanne-Bernadette Tse Sum Bui	7
Claire Rossi	25
Luminita Duma	33
Yannick Rossez	37

---

### TIMR

Équipe d'accueil EA 4297

Kashayar Saleh	21
Isabelle Pezron	23
Mikel Leturia	55

## LISTE DES ENSEIGNANTS-CHERCHEURS CITÉS PAR LABORATOIRE

### BMBI

Unité mixte de recherche UMR UTC/CNRS 6600

Christophe Egles	11
Frédéric Marin	27
Dan Istrate	35
Anne-Virginie Salsac	45

---

### Costech

Équipe d'accueil EA 2223

Frédéric Huet	17
Jerôme Valluy	47
Michaël Vicente	51

---

### Avenues

Équipe d'accueil EA 7284

Jean-Pascal Foucault	19
Manuella Sechilariu	41

---

### LMAC

Équipe d'accueil EA 2222

Ahmad El Hajj	13
Nikolaos Limnios	57



Poussez la porte de nos laboratoires  
et composez votre parcours....

[www.utc.fr](http://www.utc.fr)  
> visite hypermédia



Retrouvez nos laboratoires sur [www.utc.fr](http://www.utc.fr) > recherche

Ouvrage réalisé par la direction de la communication de l'UTC  
Crédits photos : Eric Nocher  
Textes : Bénédicte Haquin