



abécédaire de l'innovation



abécédaire
de l'innovation



voir les vidéos

Pour lire ce flashcode, votre smartphone doit être équipé d'une application permettant de décoder les codes barres 2D

<http://abc-innovation.utc.fr>

ISBN 978-2-913923-34-8

Sommaire

Éditorial par Alain Storck , Président de l'UTC	5
Préface par Yves Coppens , Professeur au Collège de France	7
Actionneur électrique	13
Bioraffinerie	15
Capteurs en réseau	17
Modélisation 3D	19
ERM	21
Foie bio-artificiel	23
GPRS	25
Hypertextuel	27
Immatériel	29
Jeu de lipides	31
Knowledge management	33
Lancer de rayons	35
Méthanisation	37
Nanobiotechnologies	39
Open Innovation	41
Polymère à empreinte moléculaire	43
Qualité	45
Réalité virtuelle	47
Suppléance cognitive	49
Toxicologie prédictive	51
Unmanned Aerial Vehicles	53
Véhicule intelligent	55
Web-démocratie	57
Xénobiotique	59
Y: anticorps catalytique	61
Zzzzz... onomathopée vibratoire	63
Liste des enseignants-chercheurs cités par laboratoire	65



ALAIN STORCK

Vous avez dit innovation !

Il me revient l'honneur de proposer un éditorial à cet abécédaire de l'innovation et mes premiers mots diront l'émerveillement, qui est le mien, de constater combien l'UTC assume pleinement sa responsabilité en matière d'innovation et sait intelligemment et de manière opérationnelle décliner son slogan : "Donner un sens à l'innovation", une innovation sous toutes ses formes (pédagogiques, technologiques, organisationnelles, sociales...) en tant que processus de transformation et de valorisation de connaissances et de savoirs nouveaux créés par les milieux académiques vers des produits, procédés, services, usages, outils produits par la sphère économique au service et bénéfice de l'homme et de la société.

Et l'on perçoit clairement en considérant la grande diversité, la pluridisciplinarité et l'extrême richesse des vingt six exemples choisis que l'UTC réussit parfaitement à travailler en étroite symbiose entre trois mondes : celui de la sphère académique dont les missions et les constantes de temps, celles des savoirs, de la connaissance et de la pensée, doivent être respectées en dehors de tout asservissement purement utilitariste ; celui de la sphère économique, dont les impératifs productifs et de rentabilité constituent les spécificités ; celui de la société civile dont les attentes en matière de justice sociale, de développement durable et de réponses aux grands problèmes de nos sociétés s'expriment avec de plus en plus de véhémence.

Je tiens à féliciter ici l'ensemble des acteurs engagés dans cette formidable aventure de l'innovation, notamment la région Picardie, et formule le vœu que nous réussissions tous ensemble, à mener à bien le projet de transformation de l'UTC en véritable écosystème local d'innovation. Projet fortement mobilisateur s'il en est, il réunit tous les ingrédients du succès : rassembleur et mobilisateur des enseignants, chercheurs, étudiants, partenaires économiques et des collectivités, intégrateur des missions formation et recherche, promoteur d'une nouvelle logique partenariale université-entreprise-territoire et porteur d'une nouvelle vision du rôle de l'université dont le moteur innovation serait alimenté par une tétra-finalité articulée autour de science, technologie, économie et société.

Alain Storck,
Président de l'UTC



YVES COPPENS

P

réface par Yves Coppens

Honneur et surprise se mêlent lorsqu'une préface vous est demandée par une prestigieuse Université de Technologie pour son Abécédaire ; honneur parce que c'est toujours un privilège d'être choisi pour ouvrir un travail, surprise parce que le travail en question est la présentation d'une somme de programmes plus audacieux les uns que les autres, évidemment projetés dans un avenir qui ressemble souvent à du rêve. Or la Paléontologie que je m'efforce de servir depuis bien des années est, comme chacun sait, une science qui ne s'occupe que du passé et bien qu'elle tente parfois de s'exercer en passant des alliances avec des sciences et des technologies d'autres horizons, et qu'en ce sens il peut exister des innovations de sa pratique, on ne peut guère parler de fossiles du futur. Tant pis donc pour les chercheurs de Compiègne, que j'admire pourtant beaucoup, tant pis pour les rédacteurs de leurs projets et ceux de l'Abécédaire, je ferai une préface paradoxale !

Je dois dire d'abord que je me suis promené dans ces lettres et leurs illustrations avec gourmandise mais inquiétude, un peu perdu dans le virtuel, l'immatériel, le numérique, le xénobiotique, la scalabilité, la séparabilité et puis j'ai fini par m'y plaire et même m'y installer. Destinés à transformer nos vies, en améliorant sans cesse notre confort, par une réduction des risques, par une meilleure maîtrise des paramètres en présence, de leur organisation, de leur gestion, tous ces projets jonglent avec l'infiniment petit – l'échelle nanométrique est de 10^{-9} – ou la dimension de la planète, la multiplication des capteurs et l'installation de réseaux, la modélisation de systèmes et la manipulation de l'outil mathématique et on entend parler de réalité et de post-its virtuels, d'internet, de web participatif et de biopuces ! La santé de l'Homme est sur la sellette en permanence, la communication entre les Hommes aussi, leur transport, leur habitat, leurs villes, mais leurs émotions ne sont pas oubliées et les termes de qualité, coopération, rencontres se retrouvent dans tous les programmes ou presque.

Sans vouloir en profiter pour placer l'expérience de ma discipline au cœur de toutes ces créations, inventions, découvertes, je voudrais quand même raconter à tous les brillants scientifiques et ingénieurs de Compiègne quelques constats préhistoriques et réflexions préhistoriennes.

Imaginez le monde de Lucy par exemple ; nous sommes, il y a un petit peu plus de 3 millions d'années, quelque part dans une savane tropicale ; il y fait chaud, parfois humide, le monde alentour

est bruisant, bruyant, cris des oiseaux, piaillage des singes, craquements des branches et des fourrés sous les pas des antilopes, des hipparions ou de temps en temps des pachydermes qui ne font aucun effort pour réduire les décibels qui de toute façon leur sont familiers. Et puis soudain, peu de temps, très peu de temps (géologique) plus tard, de nouveaux bruits surviennent et ces tout nouveaux bruits qui sont secs, pointus, acides ou graves, ronds, roulant ont dû surprendre, étonner, inquiéter. « L'Homme est entré sans bruit » dit joliment Teilhard de Chardin, mais il ne dit pas qu'après être entré il en a fait beaucoup – en articulant et parlant soudain, et dieu sait s'il est bavard, et en frappant la pierre pour fabriquer tout aussi soudainement armes et outils à n'en plus finir –, et il ne dit pas non plus qu'il n'a plus cessé d'en faire. Pour les oreilles des éléphants et des dinothères, des notochères et des coudous, des hyènes et des dinofelis, ce fut, à n'en pas douter, une intrigante nouveauté et une pollution certaine. Et je ne parle pas de l'intrusion, depuis deux cents ans, des bruits de moteurs que l'on entend désormais, absolument partout, au point que l'inquiétude parfois vous envahit – je l'ai ressentie au milieu des kilomètres carrés de toundra – lorsqu'on ne les entend plus !

Voici donc l'Homme sur Terre ; il s'y installe, y prospère, sort des écosystèmes et puise dans la nature tout ce dont il a besoin de manière habile et opportuniste et crée, invente, innove, montrant tout de suite son adaptabilité et son génie. Mais c'est dans cette superbe course, qu'il n'a jamais interrompue depuis l'émergence de sa conscience il y a presque 3 millions d'années, que l'on voit se dissocier les vitesses respectives de ses inventions et de leurs applications et celles de ses mentalités et de leurs maturations. Il faut à la société un temps de compréhension, d'admission, de digestion avant de faire sienne une innovation et vous êtes, à Compiègne, bien placés pour savoir ce que cela veut dire. Il a fallu des centaines de milliers d'années pour passer du percuteur dur (pierre sur pierre) au percuteur tendre (pierre sur bois sur pierre), des milliers d'années pour se rendre compte que l'argile cuite, dont on avait compris les qualités particulières, pouvait être avantageusement utilisée pour fabriquer des contenants !

Enfin quelle joie pour l'esprit de voir le Préhumain savoir, puis l'Homme peu à peu savoir qu'il sait et l'Homme moderne de mieux en mieux le faire savoir en peignant ou gravant les murs de ses abris ou

P

réface par Yves Coppens

les objets de ses usages il y a de cela presque cinquante mille ans ; ses messages sont alors codés, associés et signifiants mais pas encore linéaires ; ils le deviendront, il y a de cela un peu plus de cinq mille ans, et écritures et alphabets seront inventés plusieurs fois en plusieurs endroits du monde, avec chaque fois une imagination et un graphisme qui font l'admiration de leurs descripteurs et de leurs interprètes. Et puis voici les hypertextes, les renvois en réseaux faite des lignes qui explosent, la nécessité de nouveaux rangements des lieux, la naissance d'une nouvelle sémantique des liens !

Et je pourrais, au terme de cette introduction déjà longue apporter bien d'autres témoignages de ma vieille Préhistoire au bien-fondé des recherches de l'Université de technologie de Compiègne, aux qualités de ses programmes, à l'inventivité de ses laboratoires, à l'éclat des esprits de ceux qui les animent ; je suis très conscient du fait que c'est évidemment parce que l'alphabet dont nous usons n'a que 26 lettres que cette liste des innovations a mis un point à cet ouvrage et je souhaiterais, en conclusion, le faire prendre aussi conscience au lecteur. Comme, par définition, l'innovation est un nouveau départ, je suivrai désormais chacun de ses parcours, de leurs résultats et de leurs mises en application avec autant d'attention, d'intérêt et d'enthousiasme que j'en ai eu à prendre connaissance de ses programmes.

Vive la Science et la Technologie ; et vive la connaissance et la liberté qu'elle génère.

Yves Coppens,
Professeur au Collège de France

«Je me suis promené
dans ces lettres
et leurs illustrations
avec gourmandise»

Yves Coppens
Professeur au Collège de France



GUY FRIEDRICH

Actionneur électrique

Pour le grand public, les enjeux du véhicule électrique résident dans la batterie, sa puissance, son autonomie. Mais, sans un actionneur électrique, la batterie ne serait rien. *« L'actionneur électrique est un système qui transforme l'énergie électrique en énergie mécanique et rend ainsi "opérationnelle" une batterie. Un actionneur électrique est constitué de trois briques principales : une batterie et son électronique de contrôle, une électronique de traitement d'énergie et d'une machine électrique »*, explique Guy Friedrich, du Laboratoire d'Électromécanique de Compiègne (LEC). L'équipe de l'UTC a choisi de concentrer ses efforts sur les systèmes à énergie embarquée (donc avec batterie) qu'il s'agisse d'une voiture, d'un avion ou de tout autre mobile énergétiquement autonome.

Les enjeux des actionneurs électriques sont multiples : *« une batterie doit être efficace. Elle ne doit pas exploser. Elle doit durer longtemps. 30% du coût d'une batterie est lié à son électronique de surveillance »*, insiste-t-il. Démarrés il y a une quinzaine d'années, les travaux de son équipe sur l'alternateur ont abouti, par exemple, à une technique qui est en train de s'imposer dans les véhicules grand public : le système du "stop and go".

L'équipe de Guy Friedrich travaille à la conception et à la modélisation des différents éléments constitutifs de l'actionneur électrique. *« En développant des modèles numériques de ce qui se passe à l'intérieur même du système, les industriels peuvent travailler sur des prototypes virtuels et connaître l'impact de leur choix sur le silence, la puissance ou le rendement. »*

Ces modèles numériques permettent ainsi de pousser les différents éléments de l'actionneur électrique dans leurs retranchements et ce, dans les meilleures conditions énergétiques et de sécurité possibles.

La longévité de la batterie dépend en grande partie de la façon dont on l'utilise. *« Sur une flotte captive comme une administration, si l'usage des batteries est bien contrôlé (recharge au bon moment, pas d'utilisation par grand froid, etc.), une batterie peut durer cinq ans. »* Un particulier risque d'être moins délicat.

Le LEC contribue aux programmes SimStock et SimCal initiés par l'État sur le véhicule propre. *« L'enjeu est d'améliorer les batteries, notamment leur durée de vie. »*



DANIEL THOMAS

Les plantes vont-elles sauver la chimie ? C'est le pari de la bioraffinerie qui va être construite dans le cadre du projet Pivert (Picardie Innovations Végétales Enseignements et Recherches Technologiques), récemment devenu, dans le cadre des investissements d'avenir, unique IEED (Institut d'Excellence en Énergies Décarbonées) dédié à la chimie du végétal à l'échelle du territoire. *« Il s'agit à la fois de remplacer des molécules issues de la pétrochimie par des molécules végétales, d'imaginer des nouveaux process moins gourmands en énergie grâce aux plantes et de travailler sur des chaudières alimentées par des résidus végétaux »*, explique Daniel Thomas, vice-président du conseil scientifique et professeur au sein du laboratoire de Génie Enzymatique et Cellulaire (GEC) de l'UTC.

À Compiègne, la recherche va se focaliser sur les oléagineux (colza, tournesol, lin...). Sofiprotéol, qui rassemble la filière oléagineuse, a déjà investi, à Venette, à proximité de Compiègne, là où va s'installer la plate forme Pivert, dans une unité de biodiésel de deuxième génération, qui utilise la plante entière et non plus seulement les graines de colza ou tournesol. *« Arkema, Rhodia, Solvay ou Chimex, la division chimie de L'Oréal : les grand noms de la chimie seront là »*, souligne Daniel Thomas.

« Nous allons travailler sur la plante elle-même, en agronomie. Comment la pousser à produire plus de molécules intéressantes à l'image, par exemple, des acides gras ramifiés, voisins des acides gras insaturés qui peuvent être utilisés dans les lubrifiants, les cires ou les plastifiants. » Autre piste, travailler sur des techniques propres (eau subcritique, champs électriques, micro onde) pour séparer les constituants de la plante. *« Nous allons également étudier l'utilisation de la catalyse et de la biocatalyse (qui se sert des enzymes) afin de consommer moins d'énergie pour transformer la plante. »*

Le projet va également s'appuyer sur les capacités d'auto-assemblage des lipides pour créer des nanostructures biodégradables ou inventer de nouvelles formulations dont l'industrie cosmétique est très friande. Enfin, Pivert aura un objectif plus global d'écologie industrielle. Une bioraffinerie devra être un lieu d'utilisation rationnelle de la matière première : production à proximité, recyclage de tous les résidus en énergie ou en nouveaux produits.



ABDELMADJID BOUABDALLAH

Capteurs en réseau

Surveiller les forêts méditerranéennes l'été, suivre à distance la rééducation d'un malade... « *Les champs d'application des Réseaux de Capteurs Sans Fil (RCSF) sont innombrables* », constate Abdelmadjid Bouabdallah, responsable de la branche Génie Informatique et enseignant-chercheur au sein de l'unité mixte de recherche Heudiasyc (Heuristique et Diagnostic des Systèmes Complexes).

C'est en travaillant sur le problème de mobilité dans les communications de groupe (par exemple, comment permettre à des pompiers de communiquer entre eux, même en mouvement) que ce département de l'UTC s'est intéressé aux RCSF. « *Cette technique est apparue dans les années 2000. Nous y travaillons depuis 2005.* » Il s'agit de placer plusieurs capteurs composés d'une mémoire, d'un microprocesseur, d'une unité de captage et d'une antenne pour diffuser l'information sur une zone à surveiller. Niveau d'humidité d'un champ pour le suivi de l'irrigation, mouvements d'une personne âgée à domicile, secousse sismique... les capteurs envoient leurs données à un centre de supervision qui prend les décisions nécessaires.

Apparemment simple, le concept se heurte à de nombreux défis. « *Le premier concerne l'énergie* ». Les capteurs sont alimentés par des batteries qui doivent être sollicitées le moins possibles afin de durer longtemps et d'être fiables. « *Il est donc nécessaire de concevoir des algorithmes de sécurité peu gourmands en énergie.* » Il faut aussi sécuriser le réseau : « *si un des capteurs tombe en panne, l'ensemble du dispositif doit continuer à fonctionner. Et le superviseur doit connaître en temps réel l'état de son réseau.* » En effet, un des aspects critiques du principe des RCSF est d'être certain que le message d'alerte arrive bien. L'équipe d'Abdelmadjid Bouabdallah travaille sur la conception d'algorithmes dit de rouage fiable et à faible consommation d'énergie pour assurer cette fonction. Une autre difficulté concerne la scalabilité, c'est-à-dire la capacité du réseau de capteurs à changer d'échelle en fonction des besoins. Il faut enfin minimiser le besoin en bande passante pour transmettre les informations et imaginer des dispositifs contre le vol des capteurs.

Les demandes sont très différentes. Une sonde de température n'a pas les mêmes contraintes qu'une sonde d'hydrométrie, elle-même très différente d'une minicaméra. « *Certains prédisent que la technique des Réseaux de Capteurs Sans fils révolutionnera la société comme l'a fait Internet.* »



NADÈGE TROUSSIER

Modélisation 3D

Grâce à l'informatique, la modélisation est devenue le passage obligé pour tous les concepteurs. Faire apparaître sa création en 3D sur un ordinateur et simuler son comportement font désormais partie du B-A BA de l'ingénieur. Pourtant, les choses ne sont pas si simples. « *Le laboratoire Roberval travaille autour des concepts d'intégration des métiers et des technologies* », explique Nadège Troussier, enseignant-chercheur au sein du laboratoire Roberval et du département Génie des Systèmes Mécaniques. Peu à peu, en effet, la conception a fait appel à de plus en plus d'intervenants.

La généralisation du Product Lifecycle Management (PLM) ou outil de gestion du cycle de vie élargit considérablement les métiers et les technologies auxquels on doit faire appel. « *Il faut savoir prédire le comportement d'un objet depuis sa conception jusqu'à son démantèlement.* » À chaque étape, un expert modélise son travail en une maquette numérique qui alimente la réalité virtuelle sur laquelle tous travaillent. L'ensemble des experts sera-t-il capable d'intégrer toutes ses données sur une même maquette afin de pouvoir échanger avec les autres ?

L'objectif de l'équipe de Nadège Troussier est d'intégrer chaque métier à un ensemble via des outils informatiques. « *Pas question de bouleverser les modes de travail des experts, insiste la chercheuse. Chacun continue de travailler sur ses propres modèles et ses propres données.* » Chacun pourra travailler en même temps que les autres et sur le même objet. En revanche, un outil informatique intégrera l'ensemble des données de manière totalement transparente pour les utilisateurs. Un défi qui implique d'aboutir à des références communes et à l'interopérabilité des modèles.

Les enjeux sont immenses. « *Aujourd'hui, dans l'industrie, aucune entreprise ne possède en son sein toutes les expertises.* » Des centaines d'ingénieurs doivent travailler ensemble sans appartenir à la même entreprise ni souvent au même pays. Et les contraintes de délai imposent que tout le monde travaille en parallèle. Des sociétés comme Airbus, Snecma ou Valeo font appel à l'expertise de l'UTC pour faire progresser harmonieusement leur projet. « *Dans l'aéronautique il faut intégrer la mécanique, l'électronique, les logiciels embarqués, par exemple.* » La demande ne risque pas de faiblir tant le travail en mode collaboratif est de plus en plus recherché.



SABINE BENSAMOUN

L'homme transparent... C'est peu à peu ce que les physiciens et les médecins vont réussir à atteindre. Démarrée avec les rayons X, l'exploration non invasive du corps humain n'a cessé de s'étendre grâce à l'échographie, au scanner, à l'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM). Sabine Bensamoun, physicienne au sein du laboratoire de BioMécanique et Bio-Ingénierie (BMBI) de l'UTC, s'est passionnée pour la biomécanique sur les tissus osseux et musculaires. « *Je travaille sur des données obtenues en couplant des vibreurs acoustiques à un appareil d'IRM, explique-t-elle. L'IRM, seule, donne une image anatomique de l'organe. L'Élastographie par Résonance Magnétique donne des indications sur ses propriétés mécaniques.* »

« *Lors d'une ERM, l'appareil d'IRM enregistre la vitesse de transmission des vibrations émises à travers le tissu observé. Plus la vitesse est rapide, plus le tissu est dur.* » Sabine Bensamoun a travaillé deux ans aux États Unis, à la célèbre Mayo Clinic, intéressée par cette technique qui permet d'éviter les biopsies, notamment dans les cancers du foie.

Revenue en France, elle a lancé une étude avec le centre hospitalier de Compiègne pour suivre les malades alcoolo-dépendants. Savoir à quel état de fibrose se trouve le foie aide le médecin à ajuster les traitements. « *Nous sommes également une des premières équipes à avoir publié sur le rein.* »

L'équipe de l'UTC s'est aussi intéressée aux muscles. « *Étudier la dureté du muscle quand il se contracte est un moyen de savoir s'il fonctionne normalement.* » Des travaux ont démarré avec le soutien de l'Association Française contre la Myopathie, maladie qui atrophie les muscles. « *Nous constituons une base de données qui regroupera le comportement musculaire d'enfants sains et d'enfants malades. Le jour où des traitements arriveront, cette base de données permettra de caractériser l'état de la maladie pour chaque patient et d'adapter au mieux la thérapie. Nous allons travailler aussi auprès d'enfant IMC (Infirme Moteur Cérébral) qui souffrent de rétractations des muscles.* »

De l'enfant, les études se sont tout naturellement élargies aux adultes, puis aux seniors et au quatrième âge, toujours pour constituer des bases de données. À terme, ce sera un moyen de savoir si les personnes âgées risquent de chuter en raison d'un affaiblissement musculaire non détectable à l'examen clinique.



CÉCILE LEGALLAIS

Foie bio-artificiel

Des microbilles pour sauver des vies... En imaginant d'encapsuler des cellules de foie dans de l'alginate, une substance à base d'algues, Cécile Legallais, du laboratoire de BioMécanique et Bio-Ingénierie (BMBI) de l'UTC, imaginait-elle toutes les possibilités d'applications qui en découleraient ? « *Nous avons un savoir-faire dans la mise au point d'organes artificiels, se souvient-elle. Nous avons alors imaginé créer un foie bio-artificiel.* » Le plasma des patients atteints d'hépatite fulgurante ou en attente de greffe serait filtré au contact de ces microbilles concentrées dans un bio-réacteur. La paroi des microbilles étant poreuse, la capacité de traitement des cellules de foie qui y sont encapsulées est intacte. De plus, comme ces cellules ne sont pas en contact direct avec le plasma du patient, il n'y a pas de risque de rejet immunitaire.

Limpide sur le papier, le dispositif doit être expérimenté. Des premiers tests précliniques ont débuté en partenariat avec un hôpital londonien. En parallèle, des industriels travaillent sur l'adaptation de dispositifs médicaux qui permettraient d'intégrer ce type de bio réacteur dans un circuit extra corporel. Il s'agit de s'inspirer des machines utilisées pour les dialyses rénales pour y intégrer le foie artificiel.

Le centre hépato-biliaire de l'hôpital Paul Brousse à Villejuif très en pointe sur l'application clinique des systèmes artificiels et bio-artificiels s'est intéressé à ces travaux. « *Un projet d'expérimentation, soutenu par l'ANR TecSan va démarrer, avec les industriels Gambro et Kaly-Cell, l'équipe de Paul Brousse, la biobanque de Picardie et une équipe INSERM de l'institut de recherche en biothérapies de Montpellier.* »

Le potentiel des micro-capsules ne s'arrête pas là. « *Notre partenaire de Montpellier souhaite réaliser des implants. Puisque la membrane de la capsule empêche les immunoglobulines de passer, on peut envisager d'implanter des cellules étrangères au patient dans un objectif thérapeutique.* »

Le système de micro-capsules pourrait aussi être utilisé en tant qu'alternative à l'expérimentation animale. « *Dans le cas de l'hépatite C, les modèles classiques in vitro ne fonctionnent pas. En lien avec le laboratoire de virologie de l'UPJV, l'adaptation de notre bio-réacteur permettrait de produire en masse le virus, puis de tester l'effet de substances pour bloquer sa multiplication.* »



MOHAMMED SHAWKY

Comment faire communiquer entre eux les téléphones mobiles ? La question peut paraître incongrue mais l'est un peu moins si l'on imagine qu'il n'y a pas de réseau.

C'est en se penchant sur les capacités des téléphones mobiles à communiquer sans réseau que l'équipe de Mohamed Shawky, du laboratoire Heudiasyc, en est venue à pousser les portes... du Château de Compiègne. Le protocole de communication d'un téléphone mobile prévoit de passer par General Packet Radio Service (GPRS) c'est à dire que le transfert de données se fait via l'opérateur de téléphonie grâce au réseau 3G. « *Parallèlement, la connexion des ordinateurs portables s'est libérée de tout "fil à la patte" grâce au wifi* », explique Mohamed Shawky.

L'innovation consiste à utiliser le wifi comme moyen de communication et de localisation. « *L'idée est basée sur les réseaux ad hoc, héritage des réflexions de l'armée qui a mis en place des protocoles pour communiquer en cas de panne de relais.* » Les téléphones vont se localiser les uns vis-à-vis des autres dans la limite de la portée wifi qui est de 200 à 300 mètres.

Une start-up baptisée Closycom a été créée pour exploiter toutes les potentialités de cette technologie dans les secteurs de la culture et de la grande distribution.

« *Une expérimentation a été lancée dans le château de Compiègne.* » Elle propose aux visiteurs équipés d'un Smartphone de se connecter en wifi en entrant dans le château. Ensuite, la géolocalisation du smartphone permet de rafraichir le commentaire de la visite en fonction du lieu traversé. « *On peut même mettre un post-it virtuel sur une œuvre, consultable par les visiteurs suivants.* »

Dans l'application grande distribution, le client, sur son Smartphone ou une zapette qui sert à scanner soi-même ses courses, va recevoir des offres promotionnelles en fonction de son parcours d'achat, via une connection wifi. « *Dans un magasin de bricolage, il pourra aussi avoir accès à des conseils techniques, à des comparatifs de prix.* » Ce dispositif permet d'avoir une promotion moins invasive car plus ciblée.

Le wifi a, sur la 3G, le grand avantage de permettre des débits beaucoup plus élevés donc de transmettre beaucoup de contenus. Cette diffusion géolocalisée d'informations par wifi permet également aux touristes même étrangers de profiter facilement du dispositif, sans avoir un forfait téléphone spécifique. Enfin, l'enseigne qui l'utilise peut totalement maîtriser ce qui se diffuse dans ses murs.



SERGE BOUCHARDON

Hypertextuel

Il est entré dans nos vies, ce petit trait bleu soulignant, dans les textes lus sur Internet, les liens hypertextes comme autant de fenêtres s'ouvrant vers des informations supplémentaires, des images, du son, d'autres univers. L'hypertexte, terme inventé en 1965 par Ted Nelson, est-il en train de changer notre manière d'écrire et de lire ?

À l'UTC, c'est un agrégé de lettres modernes et chercheur en sciences de l'information et de la communication, Serge Bouchardon, qui se penche sur cette nouvelle forme d'écriture et de lecture au sein du laboratoire Costech (Connaissance, Organisation et Systèmes Techniques). « *La définition stricto sensu de l'hypertexte, ce sont des nœuds d'information reliés par des liens* », explique-t-il. Sur un support papier, c'est l'oeil qui permet de passer d'un nœud d'information à l'autre, par exemple une note de bas de page. Avec l'informatique, l'utilisateur déclenche le lien mais c'est la machine qui le traite. Le lien peut être statique, emmenant toujours vers le même nœud ou dynamique et conditionné par le trajet effectué, comme pour certains liens commerciaux.

Ce qui était la nature même de notre approche du texte, la linéarité, explose. Quand a-t-on fini de lire un hypertexte ? A-t-on pris le meilleur parcours ? « *La navigation hypertextuelle peut entraîner une désorientation de l'utilisateur, qui a du mal à donner un sens à son parcours.* »

L'équipe de l'UTC travaille à donner du sens à une lecture hypertextuelle en introduisant une dimension narrative ou en proposant des outils d'annotation de parcours. Serge Bouchardon analyse aussi des créations hypertextuelles littéraires et artistiques qui révèlent de nouveaux types d'écritures.

L'équipe de l'UTC s'intéresse à l'écriture numérique de façon plus large qu'elle soit interactive, multimédia, collaborative notamment dans les entreprises. Un projet de recherche baptisé PRECIP (PRatiques d'Écriture Interactive en Picardie), financé par la Région, analyse et accompagne le développement de ces pratiques d'écriture numérique (y compris en proposant des formations pour les collégiens).

Le laboratoire est à l'origine d'un système de cartographie du web. « *En analysant le nombre et la direction des liens hypertextes, on peut connaître les sites qui font autorité sur tel ou tel thème.* » Cette thèse, fondée sur la valeur "sociale" du lien hypertexte, s'est transformée en une start-up Linkfluence qui aide les entreprises à optimiser leurs stratégies de communication.



YANN MOULIER-BOUTANG

Sans cesse, la pensée économique est stimulée par les évolutions des techniques et des comportements humains. Trouver des concepts et des outils pour décrypter la vie économique est un défi permanent.

De son poste de co-directeur du laboratoire Costech (Connaissance et Organisation des Systèmes Techniques), Yann Moulier-Boutang analyse depuis longtemps la montée de l'économie de l'immatériel, boostée par le développement du numérique. « *La notion d'immatériel est apparue quand on a essayé de comptabiliser les ressources nécessaires à la production* », souligne-t-il. Après avoir recensé les ressources matérielles (matières premières, énergie, argent et travail), les responsables de comptabilité ont identifié des ressources difficiles à tracer dans leurs livres. Entre le 18^{ème} et le 19^{ème} siècle se peaufine la notion de propriété intellectuelle (brevet, droit d'auteur, droit des marques). « *Mais l'ensemble des immatériels est beaucoup plus large.* » Il y a, par exemple, l'éducation et la formation qui ne font pas partie de la comptabilité d'une entreprise tout en se reflétant dans les salaires.

« *L'immatériel doit rassembler toutes les ressources nécessaires à la production matérielle sans nécessairement être comptabilisées. Ce qui est invisible joue un très grand rôle* », insiste le philosophe économiste qui a développé ce concept à partir de l'abeille. « *Dans l'économie du matériel, elle produit de la cire et du miel. Dans l'économie de l'immatériel, elle pollinise les plantes.* » À côté de ces externalités positives, il ne faut pas oublier les externalités négatives que sont la pollution ou les émissions de CO₂.

L'explosion du numérique a compliqué la donne. Les brevets ont longtemps protégé les biens mais aujourd'hui la simplicité technique de la reproduction grâce au numérique pose un défi à la propriété. On assiste à une inflation de dépôts de brevets dans un objectif uniquement défensif. Les laboratoires hésitent même à collaborer entre eux. « *C'est un combat perdu d'avance* », estime Yann Moulier-Boutang. Aujourd'hui, la ressource fondamentale n'est plus dans les brevets, les marques mais dans la compétence, la coopération, l'innovation. Le web 2.0 agit comme une gigantesque plateforme de pollinisation : il y a beaucoup de gratuité, les échanges sont aléatoires, les interactions non hiérarchisées et au final, ceux qui le pratiquent font leur miel de ce qu'ils y ont découvert.

Jeu de lipides

Tournesol, colza, arachide mais aussi olives ou lin... Dans la nature là où certaines plantes accumulent les protéines (pois), les sucres (betterave) d'autres sont de parfaites machines à produire des lipides.

« *On ne sait pas très bien comment les plantes oléagineuses s'y prennent pour fabriquer des lipides* », s'interroge Brigitte Thomasset, du laboratoire de Génie Enzymatique et Cellulaire (GEC) à l'UTC. « *Pour comprendre toutes les interactions, nous étudions les plantes dans un environnement artificiel, complètement maîtrisé, pour observer les échanges dans le contexte complexe de la cellule.* » Les cultures sont faites soit in vitro, soit dans des phytotrons (armoires climatisées) où tout est contrôlé : lumière, température, hydrométrie.

L'étude de ces interactions, déterminantes pour obtenir différents jeux de lipides est capitale pour plusieurs secteurs. La santé d'abord. Certaines graisses ne font pas bon ménage avec l'obésité. « *L'huile de palme est très saturée* », explique Brigitte Thomasset. Cela signifie que toutes les liaisons entre les carbones sont simples et difficilement dégradables. Solide à température ambiante, cette huile, très stable, est plébiscitée par les industriels de l'agro alimentaire d'autant plus que le palmiste qui la produit est très prolifique. Mais elle est difficilement assimilable par l'organisme humain et un des facteurs de maladie cardiovasculaire. À contrario, l'huile de lin, très insaturée, est facilement assimilable par l'organisme. Mais elle est très instable. Fluide, elle ne se fige qu'à -18°C et s'oxyde très rapidement au contact de l'air.

Comment enrichir une huile en oméga 3 et l'extraire de la graine en compagnies de polyphénols (antioxydants), par exemple... les applications santé imaginées dans les laboratoires de l'UTC sont vastes et mobilisent les investissements de grands noms de l'alimentaire comme Lesieur.

Les huiles industrielles ont aussi un bel avenir. « *Il faut trouver des huiles végétales stables à très hautes températures pour les utiliser comme lubrifiants de moteurs, par exemple* », explique Brigitte Thomasset dont l'équipe travaille notamment avec Total sur le sujet. « *Les insaturations présentes dans l'huile de lin ont été très utiles avant la pétrochimie pour les peintures et les vernis.* » Comprendre les mécanismes de production de lipides inhabituels chez le litchi, le sterculia ou le ricin, plantes oléagineuses moins connues, va devenir indispensable pour développer la chimie post-pétrole.



BRUNO BACHIMONT

Knowledge management

Le numérique va-t-il révolutionner la pensée comme l'ont fait l'écriture ou l'imprimerie ? « *Les tableaux, les formules sont nés de l'écriture, et ils sont à l'origine de nos représentations systématiques (tableaux et classification) et de nos langages formalisés, mathématiques, bref de notre pensée scientifique* », explique Bruno Bachimont, directeur à la recherche et à la valorisation, et enseignant chercheur en informatique et philosophie au sein du laboratoire Heudiasyc.

« *Déjà, les ingénieurs sont passés de la 2D à la 3D ; ils peuvent voir les objets qu'ils conçoivent en interaction : tous ces outils ont changé leur manière de penser.* » Sans que nous nous en apercevions, le numérique transforme notre rapport au contenu. L'enjeu du knowledge management est là : accompagner ces changements, profiter des possibilités qu'ils inaugurent, anticiper les difficultés qu'ils entraînent.

Mais en pratique, sur quoi travaille-t-on ? « *J'aborde deux problèmes complémentaires : savoir écrire et savoir se souvenir avec le numérique.* » Bruno Bachimont travaille sur des chaînes éditoriales permettant la production de contenus multisupports, multiusages, par exemple des contenus pédagogiques. Parallèlement, l'UTC aborde la question de la longue durée. Car le numérique pose un défi à la mémoire.

« *Le numérique est fragile (combien dure un CD ?) et variable (c'est facile à manipuler) : quand je veux relire un document numérique, comment être sûr de pouvoir le faire, comment savoir que c'est l'original ? Et, pire encore, les connaissances se renouvelant de plus en plus rapidement, comment être sûr de pouvoir le comprendre ?* » Dans la conception actuelle d'une centrale nucléaire, les ingénieurs prévoient son démantèlement. Mais, dans 70 ans, au moment du démontage, sera-t-il toujours possible de "lire" les documents techniques ? Et qui comprendra les termes qu'ils renferment ?

« *Pour étudier ces problèmes, nous avons pris un "laboratoire" : la musique contemporaine. Nous travaillons sur des programmes de conservation des œuvres musicales créées sur des outils numériques rapidement obsolètes, avec des versions multiples et des connaissances changeantes : comment pourra-t-on conserver ce répertoire et continuer à le jouer ?* », s'interroge-t-il.



BENOÎT BECKERS

Lancer de rayons

Qui pour penser la ville ? Des architectes, des urbanistes et pourquoi pas des ingénieurs ? « *Du point de vue de la physique, la ville reste un système mal connu* », souligne Benoit Beckers du laboratoire de Génie des Systèmes Urbains "Avenues". Ce laboratoire de l'UTC a choisi de se concentrer sur l'étude des rayonnements « *car aujourd'hui, la lutte contre le réchauffement climatique est une priorité.* »

La ville est faite de surfaces qui passent régulièrement du soleil à l'ombre. « *Ces surfaces vont recevoir de la lumière et réémettre dans l'infrarouge lointain. Ces rayonnements vont partir dans l'atmosphère mais, dans une rue fermée, ils restent piégés.* » De plus en plus, les habitants des très grandes villes sont confrontés à des phénomènes d'îlots de chaleur. « *Il fait plus chaud la nuit en ville qu'à la campagne, ce qui pose un problème de santé publique.* » Et aussi un regret quant à la perte d'énergie. Comment simuler ces phénomènes, grâce à des modèles physiques et des logiciels, en prenant en compte toutes les données : le trafic, les vents, les tailles différentes des bâtiments ? « *Notre modèle en 3D est très exigeant en géométrie.* » À l'échelle d'un bâtiment, il faut en effet prendre en compte la couleur des murs, le taux de fenêtrage, les matériaux.

Le lancer de rayons est d'abord une technique pour analyser ces rayonnements. Dans une scène représentant un bâtiment ou un quartier, on va lancer massivement des rayons qui vont rencontrer des objets, s'y réfléchir, diffracter, réfracter ou absorber. Ces informations vont être intégrées dans un modèle qui schématisera la réalité. « *Notre objectif est de simplifier la réalité avec le bon niveau de détail et de la modéliser.* » Les entreprises qui posent des panneaux photovoltaïques sont très intéressées par ces travaux. Il faut étudier les ombrages, le gisement solaire, pour aboutir, par exemple, à la construction "idéale" d'un quartier. Son plan optimisera la lumière naturelle, l'accès de tous au ciel et au soleil.

L'équipe de Benoit Beckers a ainsi étudié le gisement solaire du centre-ville de Compiègne. Différentes options ont été comparées : couvrir tous les toits de panneaux solaires, couvrir seulement les surfaces les mieux exposées, ne couvrir que les surfaces bien exposées invisibles de la rue. Actuellement, une thèse est en cours pour EDF afin de modéliser toutes les zones urbaines de France pour définir le gisement solaire total du pays.



MAURICE NONUS

Méthanisation

Le fumier, c'est de l'or ou plutôt de l'électricité. Depuis deux ans, l'équipe de Maurice Nonus, du laboratoire Transformations Intégrées de la Matière Renouvelable (TIMR) accompagne Erigène, une start-up qui a voulu proposer aux agriculteurs français une solution souple de méthanisation à la ferme. « *Erigène est venue nous consulter en tant qu'expert pour développer des technologies.* »

La méthanisation, qui est le processus de transformation de la matière organique en biogaz, n'a rien de révolutionnaire puisqu'elle existe à l'état naturel avec le phénomène dit de gaz de marais. La méthanisation à la ferme est très développée en Allemagne. Là bas, plus de 7 000 agriculteurs alimentent des méthaniseurs avec le fumier de leurs bêtes et les productions végétales dites énergétiques dans des grosses unités fixes. Le gaz dégagé alimente un moteur qui produit de l'électricité. « *Certains ont même abandonné l'élevage et cultivent des plantes qu'ils mettent entière dans le méthaniseur, par exemple du maïs, se transformant ainsi en producteurs d'électricité et de chaleur.* » En France, on n'en est encore pas là. Certes, EDF rachète l'électricité mais il n'est pas encore autorisé de cultiver des plantes énergétiques uniquement pour alimenter les méthaniseurs.

« *Nous avons imaginé un concept modulaire et mobile* », explique Maurice Nonus. Le module de méthanisation se présente sous la forme d'un conteneur traditionnel. L'éleveur le remplit, en une fois, soit une trentaine de tonnes de fumier puis le ferme (la méthanisation se fait en milieu confiné). « *Nous avons travaillé pour intégrer dans le conteneur des dispositifs pour arroser et ensemercer le fumier, chauffer les jus, mesurer, analyser, et récupérer le biogaz. L'agriculteur n'a plus qu'à programmer son cycle de production.* » Le méthane part dans un moteur qui produit de l'énergie électrique et la chaleur est récupérée pour être valorisée, soit deux sources de revenus supplémentaires pour l'exploitation. Les résidus sont ensuite épandus dans les champs.

Les agriculteurs ne sont pas restés insensibles à l'argument financier du dispositif. « *Pour avoir une production intéressante, il faut avoir entre 70 et 100 têtes de bétails.* » Et l'on peut ajuster ses investissements à l'évolution de la taille de son cheptel, en achetant progressivement des conteneurs supplémentaires. Autre bon point, le fumier est immédiatement utilisé. Ce système, en piégeant le méthane permet aussi de limiter l'effet de serre.



KARIM EL KIRAT

Nanobiotechnologies

Qui sait tout ce que nous apprendrons sur le vivant grâce aux nanobiotechnologies ? L'AFM ou Microscope à Force Atomique est en train d'ouvrir des horizons insoupçonnés aux chercheurs en biologie. Ce dispositif complexe permet d'observer à l'échelle nanométrique soit 10^{-9} mètres. « *L'échelle du vivant est le micromètre soit 10^{-6}* », précise Karim El Kirat, du département de génie biologique de l'UTC. « *À 10^{-9} , nous sommes à l'échelle des molécules.* »

« *À l'échelle nanométrique, nous pouvons dissocier, récupérer, assembler les particules qui constituent le vivant : les lipides, les protéines... Chaque particule est une brique que le biologiste peut assembler à une autre pour comprendre comment elles se comportent.* » Grâce à cette échelle, il est possible d'isoler des phénomènes sans qu'ils soient "parasités" par d'autres particules comme ce qui se passe normalement au niveau de la cellule. Autre avantage : l'observation se fait dans une goutte d'eau. « *Nous observons un milieu vivant* », insiste Karim El Kirat. À la différence du microscope électronique qui fige les réactions observées soit par dessèchement ou cryogénéisation.

L'équipe de l'UTC s'est plus particulièrement penchée, avec les pharmacologistes de l'Université de Picardie Jules Verne (UPJV), sur le mécanisme de la malaria. Il existe actuellement plusieurs molécules antipaludiques dont on ignore le mode de fonctionnement. Grâce à l'AFM, une étude complexe est menée pour savoir où se trouvent les récepteurs de la molécule antipaludique sur la surface du parasite. « *Ce système, qui enregistre la force d'attache entre une seule molécule et un seul récepteur, permet de visualiser des phénomènes que l'on imaginait intuitivement.* »

Toutes les retombées des nanobiotechnologies ne sont pas encore connues. « *Dans le domaine du cancer, les cellules cancéreuses étant moins souples que les autres, on pourra les détecter dans des biopsies en soumettant les cellules à un test de pression par AFM.* » L'unité travaille également sur la toxicologie des nanoparticules. Ces nanoparticules qui affolent certains, sont déjà présentes dans des shampoings ou des dentifrices. Comment se comportent-elles au contact d'objets biologiques ? Vont-elles rester dans l'organisme ou être éliminées ? « *L'AFM peut tout faire* », s'enthousiasme Karim El Kirat. En revanche, à chaque échantillon nouveau, il faut créer un nouveau protocole. En s'emparant d'un outil de physiciens, les biologistes se sont ouverts d'immenses champs de recherche.



THIERRY GIDEL

O pen innovation

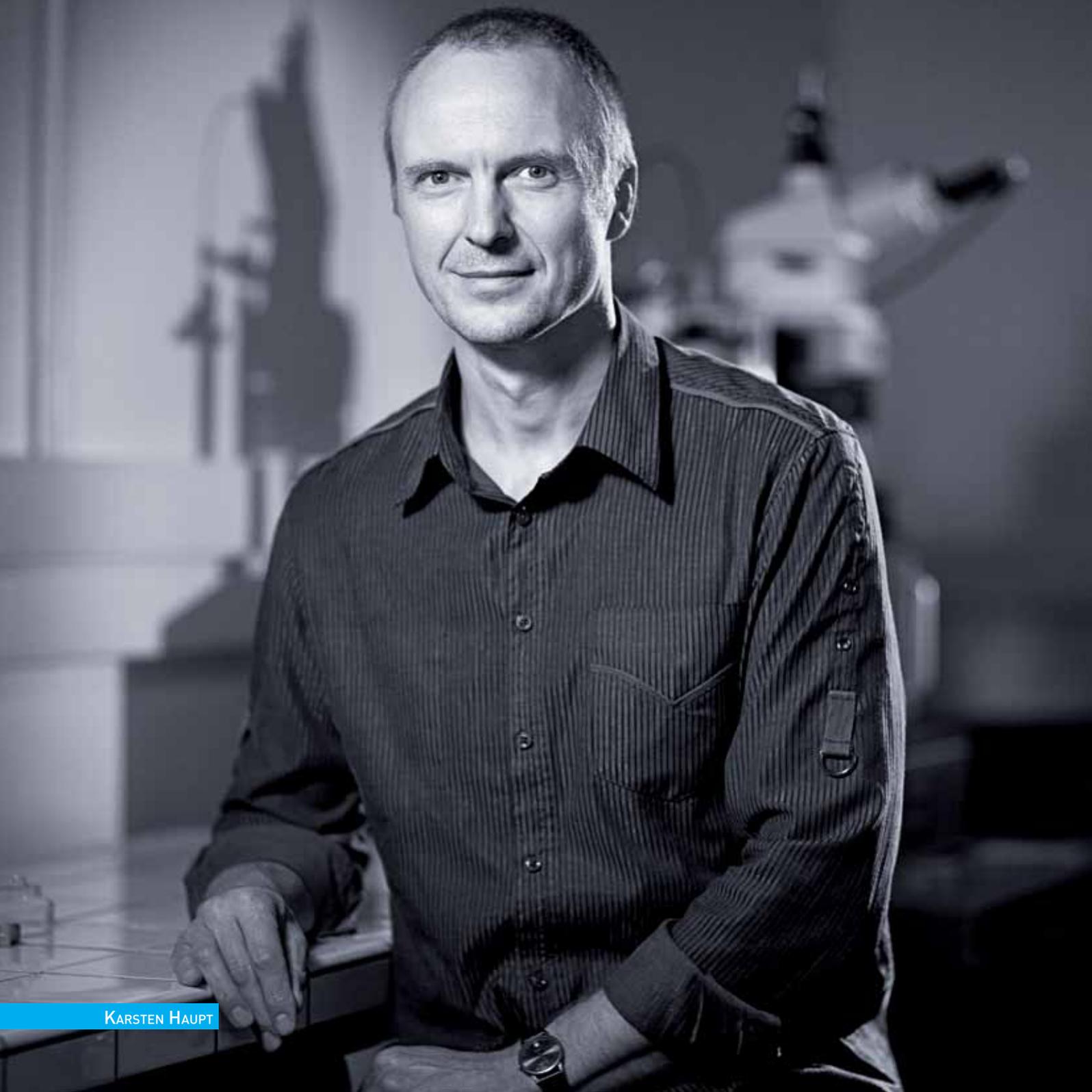
Longtemps, l'innovation est restée à l'abri des frontières de l'entreprise. « *C'était un processus vertical* », souligne Thierry Gidel. Pour développer un nouveau produit, l'entreprise regroupait en son sein des chercheurs, des ingénieurs, des designers, qu'elle formait elle-même. Aujourd'hui, les cycles de vie et de conception du produit se sont raccourcis. Le marché des talents est devenu planétaire et les industriels doivent répondre à des besoins mondiaux. « *Les frontières de l'entreprise sont devenues poreuses : elle ne peut plus tout faire en interne.* » De fermée, l'innovation est devenue ouverte.

Il faut chercher les compétences et les idées là où elles se trouvent, dans les start-up, les universités, les entreprises partenaires. « *Il ne s'agit plus d'un lien de sous-traitance mais d'un travail en commun.* » C'est sur ce modèle que l'UTC a développé la plate-forme de son centre d'innovation. L'équipe de Thierry Gidel dispose de ressources sur place, d'outils et de méthodes efficaces pour créer un environnement propice à l'innovation. Elle aide les entreprises à reformuler leurs demandes. « *Puis nous trouvons ensemble des réponses en assemblant des briques technologiques existantes. Il ne s'agit pas de partir de zéro : nous ne sommes pas un centre de recherche* ».

L'université dispose également d'outils très performants (prototypage rapide, base de données marketing, réalité virtuelle, ...) pour tester les projets. Mais son plus gros atout réside dans sa matière grise. « *Nous disposons de l'expertise des professeurs et de la créativité des étudiants.* » En matière d'innovation, l'inconscience de la jeunesse est un grand avantage. « *Rien n'arrête les étudiants. Nous arrivons à débloquer des situations d'entreprises où le personnel, plus qualifié mais aussi plus formaté, pensait que c'était impossible...*»

Tout ce foisonnement va bientôt s'exprimer dans un centre d'innovation flambant neuf de 4500m² qui ouvrira en 2012. « *Nous avons multiplié par quatre le nombre de plateaux projets.* »

Le centre d'innovation organisera des événements pour favoriser la "serendipité". Ce terme, encore peu connu du grand public, fait fureur dans le monde de l'innovation. Dans des journées à thème, ouvertes à tous (ingénieurs, industriels, associations, particuliers), on fait naître des idées en créant les conditions de rencontres inattendues.



KARSTEN HAUPT

P

olymère à empreinte moléculaire

Ce sont les rois du moulage. Mais à l'échelle des molécules. L'équipe de Karsten Haupt du laboratoire Génie Enzymatique et Cellulaire (GEC) s'est spécialisée dans la fabrication de polymères par impression moléculaire. « *Nous moulons de la résine autour d'une molécule cible, une molécule que l'on souhaite bloquer ou inhiber par exemple. La forme obtenue va fonctionner ensuite comme un anticorps, molécule naturelle qui assure la défense immunitaire de notre organisme et qui vient se fixer sur une cible pour la neutraliser.* »

Ces polymères synthétiques peuvent ensuite remplacer les anticorps dans leur usage habituel avec certains avantages : « *les polymères sont plus stables que les anticorps à température ambiante, souligne Karsten Haupt. Et parfois il est très difficile de fabriquer des anticorps lorsque les molécules cibles sont trop petites.* » L'équipe du GEC réussit même à fabriquer des particules de polymères réticulés de très petites tailles, de quelques nanomètres : « *nous travaillons à l'échelle des nanoparticules, ce qui les rend solubles et nous permet d'obtenir des propriétés nouvelles.* »

En 2004, une start-up, PolyIntell, est née dans le sillage de ces travaux. Elle fournit des kits pour l'analyse biomédicale et agro-alimentaire. « Les polymères peuvent, par exemple, mettre en évidence des mycotoxines dans les produits alimentaires. Les polymères à empreintes sont également très précieux pour séparer deux molécules proches par la structure. « *Dans le domaine pharmaceutique, beaucoup de médicaments ont deux formes très proches appelées énantiomères : l'une thérapeutique et l'autre parfois dangereuse pour la santé.* » Grâce à son empreinte ultra précise, le polymère va réussir à faire la différence entre les deux.

Enfin, l'équipe de Karsten Haupt étudie l'usage du polymère directement comme médicament. « *On moule la résine sur une enzyme. Ce polymère deviendra un inhibiteur qui agira comme un anticorps dirigé contre l'enzyme.* » Avec l'avantage de pouvoir agir de façon ultra ciblée ce qui évite les effets secondaires. De plus, alors que les anticorps injectés peuvent être rapidement dégradés par d'autres enzymes, le polymère est moins attaquant et reste plus longtemps et en plus grand nombre dans le corps. Reste à savoir comment il est éliminé de l'environnement. « *Nous travaillons sur la fabrication de résine à base de molécules biologiques d'origine végétale, qui sont biodégradables.* »



ZORHA CHERFI-BOULANGER



JEAN-PIERRE CALISTE

La notion de qualité s'est inscrite progressivement dans le langage des managers à partir des années 80. Né dès l'antiquité mais développé au 20^{ème} siècle aux États-Unis puis très fortement au Japon, le concept est progressivement passé de l'industrie aux services puis à l'organisation elle-même. Un large spectre couvert par les équipes de l'UTC.

« Celui qui conçoit un produit a des performances à assurer », explique Zohra Cherfi-Boulangier. Notre mission est de développer des méthodes et des outils pour garantir la qualité finale le plus en amont possible de la conception. » Zohra Cherfi-Boulangier met ses connaissances en mathématiques appliquées au service des ingénieurs. *« Grâce à des outils de probabilités statistiques, nous modélisons les performances du produit. »* Il faut choisir les paramètres prioritaires (la fiabilité, la durée de vie, la consommation d'énergie...). *« Nous avons une approche multidisciplinaire avec, dans un même laboratoire, des designers, des concepteurs, des ergonomes. »*

« Nous accompagnons les constructeurs automobiles qui changent la conception de leur moteur pour répondre aux nouvelles normes en matière d'émissions polluantes, par exemple. » En aéronautique, l'équipe de l'UTC a conçu une méthode de suivi de la qualité pendant le cycle de production.

De l'usine, Jean-Pierre Caliste, lui, a élargi le concept à l'organisation entière. *« La méthode qualité est applicable à tous les environnements complexes dans la santé, administration, enseignement. »* L'équipe de l'UTC intervient auprès de professionnels très différents : pour un hôpital psychiatrique, pour une réforme de la formation professionnelle en Tunisie. *« Nous interrogeons les organisations sur leurs missions, leurs valeurs, la définition de ce qui fait la qualité dans leur métier, et pour mettre en place des chantiers d'amélioration faisant appel à la créativité et à l'innovation. »*

Dans une véritable démarche scientifique, l'équipe de l'UTC va explorer la situation, comprendre les réels problèmes et identifier leurs causes, établir des logiques d'action, les expérimenter et mesurer les résultats. Ainsi, dans le cas de l'hôpital psychiatrique, le personnel soignant peut avoir le sentiment ou la perception qu'il y a trop de rechutes parmi les patients. *« Nous les aidons à définir ce qu'est véritablement une rechute : la démarche qualité aide à s'extirper du flou de la perception pour aborder le sujet dans toute sa complexité d'une façon factuelle. »*



Pont du Carro

INDIRA THOUVENIN

Réalité virtuelle

« Avant, quand je parlais d'interaction en environnement virtuel, beaucoup de mes interlocuteurs ne me comprenaient pas », se souvient Indira Thouvenin, du laboratoire Heudiasyc (Heuristique et Diagnostic des Systèmes Complexes). Aujourd'hui, le lancement grand public de la Kinect pour Xbox qui transforme le corps en manette de jeux la fait moins passer pour une extra-terrestre.

Historiquement, le sujet a démarré avec les simulateurs de vol. « L'objectif de la réalité virtuelle est de permettre à l'utilisateur de vivre une expérience interactive. L'utilisateur, plongé dans un monde virtuel, devra comprendre la situation et agir. Dans le même temps, des capteurs l'observeront et transmettront des données au système qui devra, lui aussi, comprendre ce que fait l'humain. » La réalité virtuelle implique un couplage homme-machine via des adaptations permanentes et successives.

Pour intégrer cette connaissance de l'humain dans un système, l'équipe d'Indira Thouvenin travaille avec le laboratoire Costech (Connaissance, Organisation et Systèmes Techniques) de l'UTC.

La réalité virtuelle ouvre de grandes perspectives dans le domaine de la formation. C'est ce que propose la start up Reviattech créée en 2008

L'équipe d'Indira Thouvenin travaille notamment pour la navigation fluviale. « L'objectif n'est pas d'obtenir la reproduction la plus fidèle possible d'un poste de pilotage de péniche mais d'être crédible. » Ensuite, sont superposés dans la cabine des objets virtuels (repères visuels, ligne de calcul des distances, etc.) pour aider l'utilisateur à appréhender la situation. Pendant la séance, des capteurs sont braqués sur les yeux du formé pour analyser sa concentration.

Le fabricant de pneus Continental s'est, lui aussi, intéressé à la réalité virtuelle pour la formation de ses opérateurs. « Grâce à l'usage de machine virtuelle on ne bloque pas la production. » Autre atout : l'univers est contrôlable : « on commence sur des schémas simples et on complexifie. » Avec ce système, la société gagne 50% de temps de formation par rapport à une formation sur machine réelle.



CHARLES LENAY

Suppléance cognitive

Il dirige le département sans lequel l'UTC ne serait pas tout à fait la même. Dans un monde d'ingénieurs, Charles Lenay et son équipe Costech (Connaissance, organisation et Systèmes Techniques) apportent les sciences humaines et sociales. Savoir ce que les techniques font de nous, comment elles rendent possibles notre pensée, nos perceptions, notre histoire,... sans cesse, le laboratoire Costech renvoie ces questions aux autres chercheurs de l'UTC.

« Nous nous sommes penchés sur les questions de suppléance cognitive à partir des travaux de l'américain Bach-y-Rita. » Le Tactile Vision Substitution System (TVSS) transforme les images captées par des caméras en sensations tactiles que le cerveau de la personne aveugle appareillée va apprendre à interpréter pour "voir" ce qui est devant elle. *« Pourquoi ce système n'a-t-il pas eu un grand succès ? »* s'interroge Charles Lenay. *« On a notamment constaté que la perception qu'il procurait n'avait pas de valeur émotionnelle contrairement à ce que procurent les sens. »* La technique ne vient donc pas en substitution d'un sens mais plutôt en suppléance.

L'équipe de Charles Lenay a créé le système Tactos qui permet aux aveugles de voir les écrans d'ordinateurs et d'y reconnaître des formes (icônes, fenêtres, colonnes). Un curseur balaie l'écran et déclenche une sensation tactile via un petit boîtier placé sous l'index. Grâce à Tactos, un non voyant peut spatialiser l'information qu'il reçoit.

Un programme de recherche a été lancé avec la région pour développer une Interface Tactile pour l'Orientement, l'Interaction et la Présence (Itoip). *« Grâce à un outil portable style GPS, le non voyant peut recevoir en toute discrétion, grâce à des sensations tactiles, des informations sur ce qui l'entoure. »* L'application a ouvert aussi d'autres possibilités pour tous en permettant une rencontre tactile dans un espace virtuel.

Mais l'internet tactile pourra-t-il véhiculer des émotions ? *« Déjà, le fait de rencontrer le curseur de l'autre nous touche car nous savons qu'il nous perçoit. »* Les chercheurs du laboratoire Costech sont en train de mettre en place un vocabulaire émotionnel tactile à l'image des émoticônes graphiques utilisés dans les mails. *« Très souvent, la recherche de techniques pour aider les personnes handicapées sert à toute la population »,* insiste Charles Lenay en citant l'exemple des boîtiers de télécommande.



ERIC LECLERC

Toxicologie prédictive

Il ne se passe pas de semaines sans que l'on s'inquiète des effets toxiques sur la santé de telle ou telle molécule. Pour encadrer la mise sur le marché de toute nouvelle substance et rassurer les populations, l'Union Européenne a imposé, en 2006, aux entreprises, via la directive européenne REACH, d'évaluer les risques des substances chimiques qu'elles produisent ou importent. C'est la toxicologie prédictive.

Comment faire ces contrôles ? « *On peut tester la molécule sur l'animal : c'est coûteux et cela pose un problème éthique* », explique Eric Leclerc, du laboratoire de BioMécanique et Bio-Ingénierie (BMBI) de l'UTC. On peut aussi réaliser des tests in vitro dans des boîtes de Pétri ou utiliser des modèles mathématiques qui prédisent, à partir d'équations, l'apparition et la disparition de la molécule dans l'organisme.

Pour dépasser les limites de ces techniques, l'équipe d'Eric Leclerc a eu l'idée d'utiliser des bioréacteurs qui se présentent sous la forme de petits circuits imprimés dans un bloc polymère. Au cœur de ces circuits sont disposées des cellules de foie, de rein, etc. « *L'objectif est de reproduire la physiologie des tissus et leurs interactions.* » Le dessin du circuit va changer en fonction des liens que l'on étudie. Une fois le bioréacteur prêt, on y perfuse la molécule étudiée et l'on étudie sa transformation après passage dans les micro-organes, comme un micro-foie, un micro-rein.

Ces bioréacteurs, également appelés biopuces, ont l'avantage d'être proches de la réalité. « *Contrairement à leur situation dans les boîtes de Pétri, les cellules enfermées dans les bioréacteurs sont contraintes : elles poussent dans les trois dimensions, souligne Eric Leclerc. Et l'on peut créer des interactions multi-organes.* »

Le bioréacteur permet d'alimenter des modèles mathématiques poussés qui limitent d'autant les essais sur les animaux « *indispensables pour la validation finale.* » On peut aussi jouer sur l'âge des cellules intégrées dans le bioréacteur et y mettre des cellules de fœtus, de jeunes, d'adultes ou de personnes âgées. « *Nous travaillons également avec l'Ineris (Institut national de l'environnement industriel et des risques) pour établir des modèles mathématiques utilisés dans des analyses de pesticides, de perturbateurs endocriniens, de polluants industriels contenus dans des fumées ou dans des solvants.* »



ROGELIO LOZANO

U nmanned Aerial Vehicles

On aimerait jouer avec. Mais les drones imaginés à l'UTC sont des petits bijoux fragiles et... coûteux. Le laboratoire Heudiasyc a démarré en 1997 en achetant des petits hélicoptères. « *Ce modèle était un peu dangereux* », se souvient Rogelio Lozano, Directeur de Recherches au CNRS au sein de l'unité mixte de recherche. Désormais, l'unité "bricole" sur des hélicoptères quadri rotors (à quatre hélices).

Il existe déjà, en France, des avions drones conçus par la société Sagem. « *L'intérêt de l'hélicoptère réside dans sa capacité à réaliser un vol stationnaire.* » Là où l'avion passe rapidement, l'hélicoptère peut rester sur place et récupérer des informations. « *Nous travaillons sur plusieurs problématiques : améliorer l'autonomie énergétique du drone, miniaturiser les instruments qu'il emporte, assurer sa stabilité notamment par rapport au vent* ».

Les ingénieurs du laboratoire jouent sur la configuration des composants et peaufinent l'automatisation en « *agissant sur les algorithmes pour la stabilisation, les commandes, sur le choix des moteurs, des actionneurs, des hélices.* » Le drone doit aussi être capable de se situer et d'éviter des obstacles via des capteurs ou des caméras comme, par exemple, une centrale inertielle, un GPS, des ultrasons et de l'infrarouge. Et le tout ne doit peser que quelques centaines de grammes.

Le laboratoire Heudiasyc travaille avec la DGA (Direction Générale des Armées). L'objectif ? Faire voler des appareils capables de survoler des zones critiques dans le cadre d'opération du GIGN par exemple, pour prendre des photos de la situation et les ramener. Les robots volants seraient également très utiles pour la surveillance des feux de forêts, le survol de centrale nucléaire ou de zones inondées pour repérer des victimes et donner des indications précises aux secours.

L'équipe de l'UTC travaille aussi à la conception de véhicules qui aient à la fois la performance des hélicoptères (décollage et atterrissage vertical, avance lente) et celle d'un avion à voilure fixe (avance rapide, longue portée, endurance)

Toutes ces applications civiles nécessitent un degré de sécurité maximum. « *Un drone qui tombe en temps de guerre c'est acceptable. En temps de paix, non.* » Autre souci, le statut juridique de ces drôles de petites machines. La présence d'un drone dans l'espace aérien n'est pas prévue. Et la question de la responsabilité d'un véhicule autonome n'est pas encore tranchée.



PHILIPPE BONNIFAIT

Véhicule intelligent

Gagner une demi seconde dans la perception d'un obstacle sur la route et ce sont quelques mètres de freinage supplémentaires gagnés et au final, peut-être, une vie sauvée. L'équipe de recherche "Automatique, Systèmes Embarqués, Robotique" du laboratoire Heudiasyc, dirigée par Philippe Bonnifait, a comme objectif d'améliorer la sécurité et la mobilité dans les transports grâce à des véhicules intelligents.

« *Comment transformer le conducteur en superviseur ?* » s'interroge Philippe Bonnifait. Il ne s'agit pas de sortir l'être humain du véhicule mais plutôt de profiter des capacités de régulation et de contrôles des machines pour lui libérer l'esprit et faciliter sa prise de décision.

« *La conduite nécessite deux grandes opérations : percevoir pour se faire une représentation de l'environnement puis commander la machine. Pour rendre le véhicule plus intelligent, il faut d'abord lui donner la capacité de percevoir le monde.* » Les équipes de Philippe Bonnifait embarquent des capteurs : radars à hyperfréquence ou à ultra son (par exemple dans les systèmes d'assistance au créneau), la télémétrie optique (lasers, caméras), des dispositifs de localisation (GPS). Tout l'enjeu ensuite est de traiter ces mesures en temps réel. « *À l'UTC, nous travaillons sur la fusion de ces données et sur la création de modèles physiques selon un principe général dit de séparation. On traite d'abord la question de la perception puis celle de la commande.* »

Mais mesurer le monde n'est pas un long fleuve tranquille : « *il faut connaître le degré de fiabilité des informations fournies par les capteurs afin de ne pas prendre une décision fondée sur des données erronées.* » Premier souci, les conditions physiques : les capteurs ont une portée limitée ; les caméras fonctionnent mal la nuit ; le laser est perturbé par la pluie. Ces incertitudes forment ce que les scientifiques ont baptisé "du bruit" c'est-à-dire une déformation des données qui occupe plus particulièrement l'UTC. « *Nous travaillons à créer des cadres qui modélisent ces incertitudes. Nous établissons des taux de confiance à accorder à chaque résultat.* »

Ces véhicules intelligents ne concernent pas que les conducteurs traditionnels. Ils pourraient aussi rendre de grands services à des personnes handicapées ou trop âgées pour conduire. Se déplacer en toute sécurité même quand on n'arrive plus à tourner la tête ou que l'on voit mal, cela sert aussi à ça un véhicule intelligent !



LAURENCE MONNOYER-SMITH

W eb-démocratie

Les applications du numérique n'en finissent pas de nous surprendre. Mais leur impact sur nos choix politiques est moins clair à cerner. « *Au milieu des années 90, je me suis penchée sur la ville numérique* », se souvient Laurence Monnoyer-Smith de l'équipe Études des Pratiques Interactives du Numérique (Epin) au sein du laboratoire Costech. Certaines municipalités, très à la pointe sur le sujet comme Parthenay ou Issy-les-Moulineaux avaient donné aux associations des moyens numériques d'échanger avec leurs adhérents.

Ensuite, ce fut la question du vote électronique, à domicile ou via des machines à voter. « *C'était un peu tôt pour les mentalités, constate la chercheuse. Pour certains élus, voter chez soi, c'était la fin d'un rituel et d'un certain sentiment d'appartenance. Il y avait également des interrogations sur la fiabilité et sur les coûts de fonctionnement.* » Aujourd'hui, les machines à voter ont été mises à l'écart. Mais la maturité politique viendra. « *On va s'habituer à voter par internet avec les élections professionnelles ou syndicales.* »

Le vote électronique a ébranlé le monde politique, le numérique le transforme. « *La notion d'autorité s'affaiblit dans tous les domaines* », constate Laurence Monnoyer-Smith. Petit à petit, émergent des revendications participatives. Les citoyens veulent être partie prenante des décisions politiques. Dans le même temps, le monde numérique alimente cette tendance avec l'essor des plates-formes participatives, des forums, des blogs... « *Aujourd'hui, il y a une congruence entre les développements des techniques et les mouvements profonds des sociétés occidentales.* »

Petit à petit, des responsables de la démocratie participative apparaissent dans les collectivités locales car ces nouvelles formes de dialogue sont nécessaires pour faire avancer les projet en urbanisme ou dans le domaine de l'environnement.

Et le débat public exige des formes très précises de dialogue. Pionnière dans le domaine, Laurence Monnoyer-Smith est très souvent sollicitée. « *J'interviens en tant que conseil pour les grands débats en étant le garant d'une concertation sincère.* » Elle a également été sollicitée pour la concertation autour de la création du musée de l'Histoire de France.

Créer un blog avec des petites vidéos, retransmettre en direct les réunions publiques, aller sur les réseaux sociaux. « *Il n'y a pas deux débats identiques : il faut faire preuve de créativité permanente* », se réjouit-elle.



ANDRÉ PAUSS

Xénobiotique

Si utile et pourtant si mystérieux, voire même inquiétant. Un xénobiotique est un composé créé par l'homme et qui n'est pas naturellement présent dans l'environnement. « *Étranger à la vie comme l'indique ses racines grecques* », précise André Pauss, du laboratoire Transformations Intégrées de la Matière Renouvelable (TIMR). Détergents, pesticides mais aussi liquides médicaux, les xénobiotiques posent question quant à leur impact sur la santé et sur l'environnement. « *Les composés de contrastes, absorbés par un patient, sont très utiles pour détecter des tumeurs par exemple lors d'examens médicaux*, souligne André Pauss. *En revanche, éliminés ensuite via les urines, ils se retrouvent dans l'eau des rivières sans avoir été dégradés par les traitements des stations d'épuration.* »

Très fréquemment, l'équipe de l'UTC est appelée à la rescousse par des industriels qui veulent éliminer les xénobiotiques qu'ils inventent. « *À l'UTC, nous avons une compétence reconnue pour sélectionner des souches de bactéries capables de dégrader ces molécules. Nous avons aussi des modèles qui nous permettent de tester la toxicité du xénobiotique.* » Dans le cas des composés de contrastes, l'équipe d'André Pauss peut proposer aux hôpitaux un dispositif pour traiter directement les effluents à leur sortie du bâtiment. « *Dans certains cas, pour dépolluer des sols, on peut injecter directement les souches bactériennes dans les sols.* » Même si, parfois, il est plus simple de gratter la terre sur une certaine épaisseur et de l'incinérer. « *C'est souvent le cas pour des terrains pollués aux hydrocarbures.* »

Actuellement, on estime à environ 140 000 le nombre de substances xénobiotiques dans l'environnement. « *On connaît bien les effets d'un millier d'entre elles.* » La mise en application de la directive européenne Reach en 2007, qui impose aux industriels d'évaluer la toxicité des nouvelles molécules, a renforcé les besoins en expertises offerts par l'UTC. « *Nous-mêmes, en tant que chercheurs, nous devons raisonner différemment en intégrant dès l'origine la question de l'impact sur la santé et l'environnement des molécules sur lesquelles on travaille.* »

Traiter coûte cher : la question devient un enjeu politique avec la mise en place ou non de normes, de seuils à ne pas dépasser. « *Il y a beaucoup d'inconnues*, reconnaît modestement André Pauss. *À chaque fois nous devons être capables d'étudier le plus finement possible le rapport coût/bénéfice.* »



ALAIN FRIBOULET

Y : anticorps catalytique

D'un côté, les anticorps, ces protéines produites par le système immunitaire en réponse à une attaque extérieure. « *Chaque individu peut produire plus de mille milliards d'anticorps différents* », confirme Alain Friboulet, directeur du laboratoire de Génie Enzymatique et Cellulaire (GEC) de l'UTC. Des anticorps dont la structure forme un beau Y. Et de l'autre, les enzymes, des molécules beaucoup moins nombreuses que les anticorps, qui ont la capacité d'accélérer les réactions chimiques au cœur de la cellule. « *Notre objectif a été de faire acquérir aux anticorps la capacité de biocatalyse des enzymes afin de profiter de leur très grande diversité.* »

Pourquoi une telle recherche ? Les enzymes sont en nombre limité. Or, pour certaines tâches comme par exemple le "nettoyage" de certains sols contaminés par des pesticides, on n'a pas les enzymes capables de dégrader ces molécules. Autre intérêt majeur, les anticorps sont propres aux systèmes immunitaires des mammifères. Leur donner de nouvelles possibilités d'action via les enzymes c'est ouvrir la voie à de nouveaux traitements.

« *À l'UTC, nous avons imaginé une méthode réellement biologique pour aboutir.* » Schématiquement, les biologistes de l'UTC avancent par système d'empreintes successives en faisant produire le tout par des souris. « *Il s'agit de transférer la machinerie de l'enzyme dans le site de fixation de l'anticorps.* » Une fois le gène de l'anticorps catalytique récupéré, on peut le reproduire en quantité d'où l'avantage du système biologique.

En avançant dans ses recherches, l'équipe de l'UTC a vu que la nature les avait devancés. « *Dans le cas de maladies auto-immunes comme la sclérose en plaque, certains anticorps qui s'attaquent à la myéline du système nerveux sont catalytiques* », remarque Alain Friboulet. Cette découverte ouvre de nombreuses pistes pour agir en protection dans les maladies en recherchant des anticorps de protection. Un nombre constant de greffés du rein font un rejet après deux ans en raison d'une nécrose des vaisseaux autour du greffon. « *On a détecté chez ceux qui ne faisaient pas de rejet la présence d'anticorps catalytiques.* » Il y a donc un moyen d'avoir une méthode diagnostique sur la présence ou non d'anticorps catalytiques et d'agir en amont sur la coagulation du sang. Sur la sclérose en plaque, les chercheurs de l'UTC collaborent avec des organismes de recherche russes. Des études sur l'hémophilie acquise sont également en cours avec une équipe Inserm de l'Institut des Cordeliers.



JEAN-MICHEL VILLE

Zzzzz... onomatopée vibratoire

Les machines on aime. Mais les décibels moins... Parfois véritable atteinte à la santé, le bruit est devenu un enjeu essentiel pour les industriels, au même titre que la performance mécanique ou que la consommation d'énergie.

Jean-Michel Ville, du laboratoire Roberval de l'UTC, accompagne de nombreux industriels dans la limitation d'une nuisance de moins en moins bien tolérée. « *Il est possible d'agir sur les bruits causés par l'écoulement de l'air dans les moteurs, dans les turbines* », explique-t-il. L'équipe de l'UTC apporte aux constructeurs, notamment aéronautiques (Airbus, Snecma, Turboméca), ses compétences pour modéliser cette propagation et étudier l'efficacité de dispositif type silencieux pour limiter les bruits émis.

L'autre axe de travail porte sur les interactions vibro-acoustiques. Il s'agit de se pencher sur les bruits émis par les matériaux eux-mêmes. « *Dans le cas de la fusée Ariane par exemple, les bruits de vibrations des matériaux notamment dans la coiffe de la fusée peuvent induire des défaillances dans les systèmes.* » L'objectif est d'optimiser l'isolation de la coiffe grâce à un traitement acoustique. « *On peut ajouter de la mousse isolante, de la laine de verre, des matériaux innovants mais il faut que l'ensemble réponde aussi à d'autres critères sécurité notamment anti-feu.* »

Enfin, le laboratoire Roberval apporte son expertise aux constructeurs automobiles dans le traitement des signaux vibro-acoustiques. « *L'analyse des bruits émis par un moteur en train de tourner donne des indications pour savoir si le fonctionnement est correct ou non.* » Avec Renault, le laboratoire Roberval réfléchit à l'utilisation de ces signaux pour améliorer le contrôle qualité en cours de fabrication et comme outil de diagnostic pour localiser les défaillances.

Les équipementiers automobiles comme Valeo travaillent sur les bruits émis dans un véhicule en dehors de celui du moteur (climatisation, circuit de refroidissement, etc.). « *L'arrivée du véhicule électrique avec son moteur silencieux pose de nouveaux défis aux constructeurs.* » Autre axe de travail : le contrôle actif qui rajoute une source de bruit en opposition de phase avec celui qu'on souhaite annuler.

Enfin, les études de bruit sont en train de gagner le bâtiment. « *Nous travaillons avec Saint Gobain sur l'isolation phonique des vitrages.* » Les nouvelles normes en matière de développement durable ont ouvert de nouveaux chantiers d'études. Les bâtiments basse consommation ou à énergie passive nécessitent par exemple une ventilation. Encore une source de bruit à traiter !

Liste des enseignants-chercheurs cités par laboratoire

Sciences de l'information : informatique, automatique, décision

Heudiasyc, unité mixte de recherche UMR UTC/CNRS 6599

Directeur : Ali Charara

Abdelmadjid Bouabdallah	17
Mohammed Shawky	25
Bruno Bachimont	33
Indira Thouvenin	47
Rogelio Lozano	53
Philippe Bonnifait	55

Mécanique, matériaux, acoustique

Roberval, unité mixte de recherche UMR UTC/CNRS 6253

Directeur : Jean-Marc Roelandt

Nadège Troussier	19
Zohra Cherfi-Boulangier	45
Jean-Michel Ville	63

Biologie, biochimie, biotechnologies

Génie Enzymatique et Cellulaire (GEC), unité mixte de recherche UMR UTC/CNRS 6022

Directeur : Alain Friboulet

Daniel Thomas	15
Brigitte Thomasset	31
Karsten Haupt	43
Alain Friboulet	61

Génie des procédés, chimie, développement durable

Transformations intégrées de la matière renouvelable (TIMR), équipe d'accueil EA 4297

Directeur : André Pauss

Maurice Nonus	37
André Pauss	59

Liste des enseignants-chercheurs cités par laboratoire

Biomécanique et génie biomédical

Biomécanique et bio-ingénierie (BMBI), unité mixte de recherche UMR UTC/CNRS 6600

Directrice : Marie-Christine Ho Ba Tho

Sabine Bensamoun	21
Cécile Legallais	23
Karim El Kirat	39
Eric Leclerc	51

Électromécanique

Laboratoire d'électromécanique de Compiègne (LEC), équipe d'accueil EA1006

Directeur : Guy Friedrich

Guy Friedrich	13
---------------	----

Technologie et sciences de l'homme

Connaissance, organisation et systèmes techniques (COSTECH), équipe d'accueil EA 2223

Directeur : Charles Lenay

Serge Bouchardon	27
Yann Moulier-Boutang	29
Thierry Gidel	41
Charles Lenay	49
Laurence Monneyer-Smith	57

Risques et vulnérabilité urbains

Avenues, Équipe UTC

Directeur : Jean-Louis Batoz

Benoit Beckers	35
----------------	----

Unité de Recherche Action CQP2I

Jean-Pierre Caliste

45

<http://abc-innovation.utc.fr/>

Ouvrage réalisé par la Direction de la Communication de l'UTC
Crédits photos : Eric Nocher / page 28 : Mathieu Boutang
Textes : Béatrice Pujebet

<http://abc-innovation.utc.fr>

www.utc.fr

Université de Technologie de Compiègne
Centre Pierre Guillaumat
BP 60319 - Rue du Docteur Schweitzer
60203 Compiègne cedex

