



3. LES DÉTECTEURS PLACÉS DANS CETTE CHAMBRE À VIDE fournissent des images d'ultra haute résolution de protéines et de cellules au moment où une impulsion X les éclaire.

avec des molécules, comme avec des atomes pris dans la matière solide.

L'état exotique de la matière qui en résulte n'existe que quelques femtosecondes. Dans les solides, il évolue en matière dense et chaude, une sorte de plasma que l'on ne rencontre habituellement que dans les conditions extrêmes du cœur d'une planète géante où en cas de fusion nucléaire. Il n'a en tout cas aucun équivalent sur Terre.

Or le LCLS peut servir de caméra rapide afin de saisir la façon dont se créent les atomes creux. Comme les relaxations Auger durent quelques femtosecondes, il est possible avec le LCLS de diriger une impulsion X d'une femtoseconde sur un système atomique en voie d'évidement avant qu'un électron externe ait le temps de rejoindre les places vacantes de la couche interne. C'est ce que nous avons fait non seulement pour des atomes, mais également pour des molécules et des échantillons de matière.

Simuler l'intérieur des planètes gazeuses

Une autre application du LCLS est la simulation des conditions extrêmes régnant au sein des géantes gazeuses. Selon les théories existantes, les températures à l'intérieur de Jupiter, Saturne, Uranus ou encore Neptune atteignent 20 000 degrés, soit environ quatre fois la température de surface du Soleil. Les principaux constituants de la planète que sont l'hydrogène et l'hélium doivent se trouver sous la forme

de phases solides exotiques, de densités extrêmes. Toutefois, nous en savons peu, car la résistance d'une telle matière et la façon dont elle se comprime ne sont ni faciles à mesurer, ni bien comprises en théorie. Pour le moment, la recherche sur de tels états de la matière n'a pu qu'être théorique, et les expériences de validation des modèles ont été rares.

Certaines des premières expériences conduites au LCLS ont été menées pour recréer ces conditions internes aux planètes gazeuses. L'intensité colossale du laser chauffe la matière très rapidement, produisant des effets extraordinaires. Nous avons par exemple observé pour la première fois une absorption multiphotonique X, c'est-à-dire comment plusieurs photons X peuvent être absorbés par des molécules constituées de nombreux atomes, ce qui libère des électrons fortement liés.

Un groupe assez dense de tels photons peut aussi arracher de multiples électrons à un atome, à une molécule ou à un élément de matière, et les vider de l'intérieur comme décrit plus haut. Les rayons X de forte intensité peuvent en outre casser quasi instantanément toutes les liaisons au sein de molécules supposées se trouver à l'intérieur des planètes géantes, dont l'eau, le méthane et l'ammoniac. Les mesures de la matière dans des conditions extrêmes ont permis de déterminer l'équation d'état de la matière (relation entre température, pression et densité) au cœur des géantes gazeuses ou durant les impacts météoritiques.

Quant à l'exploitation du laser comme caméra X ultrarapide, elle pourrait combler de sérieuses lacunes dans nos connaissances en réalisant des instantanés de molécules en train de réagir ou encore de processus physiques, chimiques et biologiques rapides.

On connaît peu en effet la structure de nombreuses molécules biologiques, en particulier des protéines membranaires et des gros complexes protéiques. La technique standard, la cristallographie, suppose de former ces molécules en une structure cristalline assez importante et régulière pour diffracter le rayonnement synchrotron. Les motifs résultants révèlent la structure de la molécule. La faiblesse de cette méthode tient au fait que les rayons X endommagent facilement les molécules. Pour compenser, les chercheurs doivent préparer de gros cristaux, mais de nombreuses molécules intéressantes (dont les protéines membra-

BIBLIOGRAPHIE

L. Redecke *et al.*, *Natively inhibited Trypanosoma brucei cathepsin B structure determined by using an X-ray laser*, *Science*, vol. 339, pp. 227-230, 2013.

S. M. Vinko *et al.*, *Creation and diagnosis of a solid-density plasma with an X-ray free electron laser*, *Nature*, vol. 482, pp. 59-63, 2012.

H. N. Chapman *et al.*, *Femtosecond X-ray protein nanocrystallography*, *Nature*, vol. 470, pp. 73-77, 2011.

M. M. Seibert *et al.*, *Single Mimivirus particles intercepted and imaged with an X-ray laser*, *Nature*, vol. 470, pp. 78-81, 2011.

N. Berrah *et al.*, *Double core-hole spectroscopy for chemical analysis with an intense X-ray femtosecond laser*, *PNAS*, vol. 108(41), pp. 16912-16915, 2011.

L. Young *et al.*, *Femtosecond electronic response of atoms to ultra-Intense X-rays*, *Nature*, vol. 466, pp. 56-61, 2010.

naïres) sont très difficiles à faire cristalliser. L'exploitation du rayonnement synchrotron pour analyser des molécules biologiques est de surcroît lente, donc inutile pour observer les phénomènes chimiques transitoires qui se produisent à l'échelle de la femtoseconde.

Au premier abord, le LCLS semble être un outil totalement inadapté pour analyser de fragiles macromolécules organiques. Une seule impulsion de ses rayons X suffit en effet à détruire les matériaux organiques ou toute matière non cristalline. Toutefois, la brièveté de l'impulsion X et son intensité permettent de capturer une image en moins de temps que la molécule n'en met à exploser. Certes, le laser détruit l'échantillon, mais il en prend néanmoins une image claire avant sa disparition.

Cette méthode dite de la « diffraction avant destruction » commence déjà à produire des fruits. Les chercheurs ont utilisé la cristallographie femtoseconde pour enregistrer des motifs de diffraction de nanocristaux, de protéines et de virus

(voir l'encadré pages 58 et 59). Au cours de travaux récents, des chercheurs ont ainsi cartographié la structure de protéines impliquées dans la maladie du sommeil.

Outre le LCLS, des laboratoires européens et asiatiques préparent ou construisent de nouveaux gros lasers à électrons libres. En Europe, le centre allemand de recherche

Amplifying Spontaneous Emission, émission spontanée auto-amplificatrice). Après avoir longtemps servi de machine pilote, FLASH est à la disposition des chercheurs depuis 2005. L'expérience accumulée avec FLASH est actuellement réinvestie par le centre DESY dans la construction du laser XFEL (*European X-ray Free-Electron Laser*), qui doit entrer en fonctionnement en 2016 à Hambourg.

Cette nouvelle génération de machines sera plus stable et dotée de faisceaux plus faciles à contrôler, et aux impulsions plus brèves encore. Avec des impulsions de seulement 0,1 femtoseconde, nous pourrions en effet commencer à observer non seulement le mouvement des atomes, mais aussi celui des électrons atomiques ou moléculaires. De nouveaux dispositifs pourraient même nous permettre de contrôler ce mouvement. Le rêve de réaliser des films montrant comment les liaisons chimiques se cassent, puis comment de nouvelles liaisons se forment à leur place, est maintenant à notre portée. ■

LE RÊVE DE FILMER

comment les liaisons chimiques se cassent
et comment de nouvelles se forment
est maintenant à notre portée.

fondamentale DESY (*Deutsches Elektronen Synchrotron*) a innové très tôt en construisant dès les années 1990 une machine pour tester le principe des lasers à électrons libres : le laser TESLA rebaptisé depuis *Free Electron Laser Hamburg* ou FLASH. C'est là que fut démontrée en 2001 la possibilité même de produire un rayonnement laser à partir d'un faisceau d'électrons en exploitant l'émission auto-amplifiée décrite plus haut. Cet effet est nommé l'effet SASE (*Self*

france culture

C'EST POUR VOUS

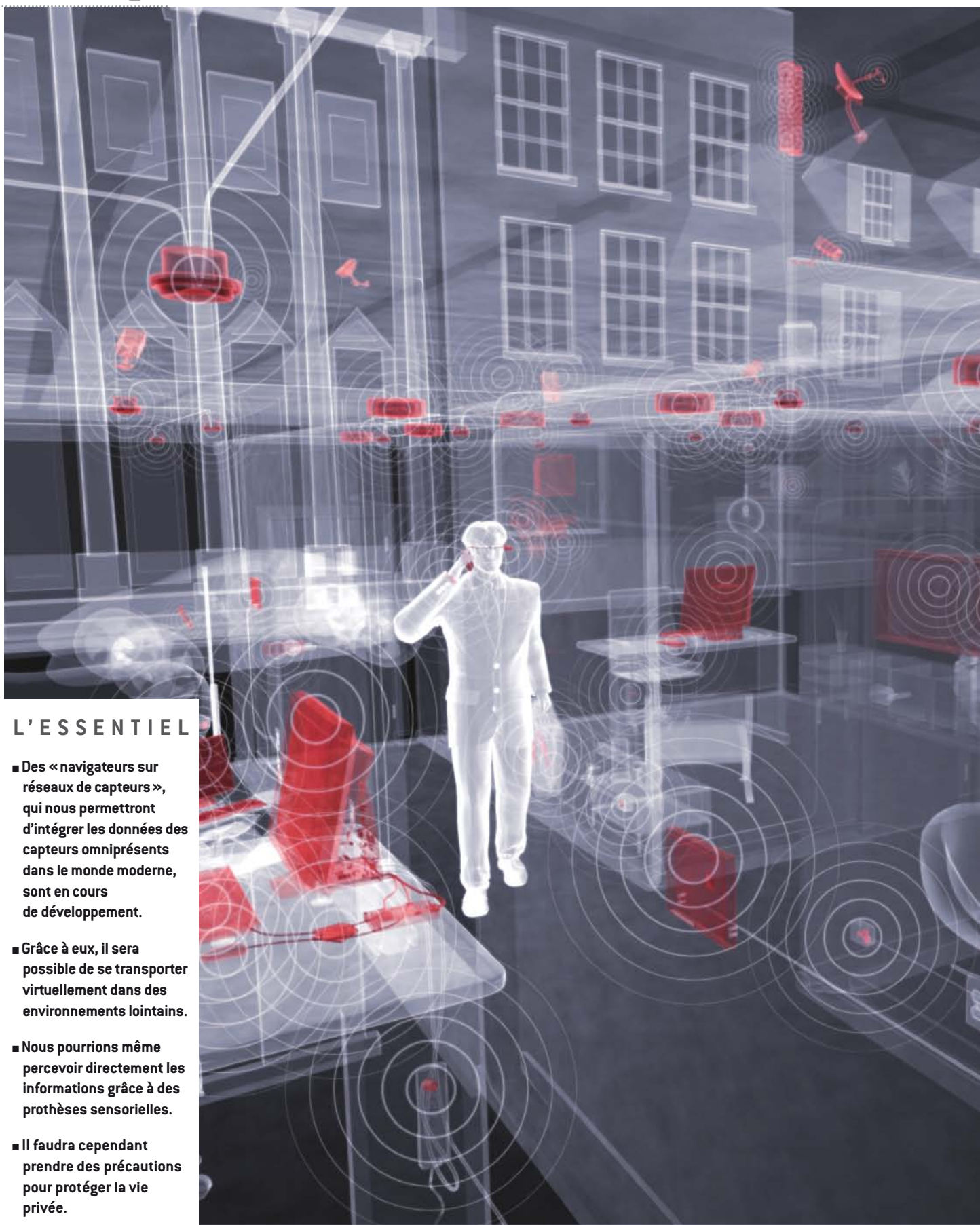
LA MARCHÉ DES SCIENCES

AVENTURES SAVANTES AU FIL DE L'HISTOIRE
AURÉLIE LUNEAU / JEUDI 14H - 15H

EN PARTENARIAT AVEC POUR LA SCIENCE

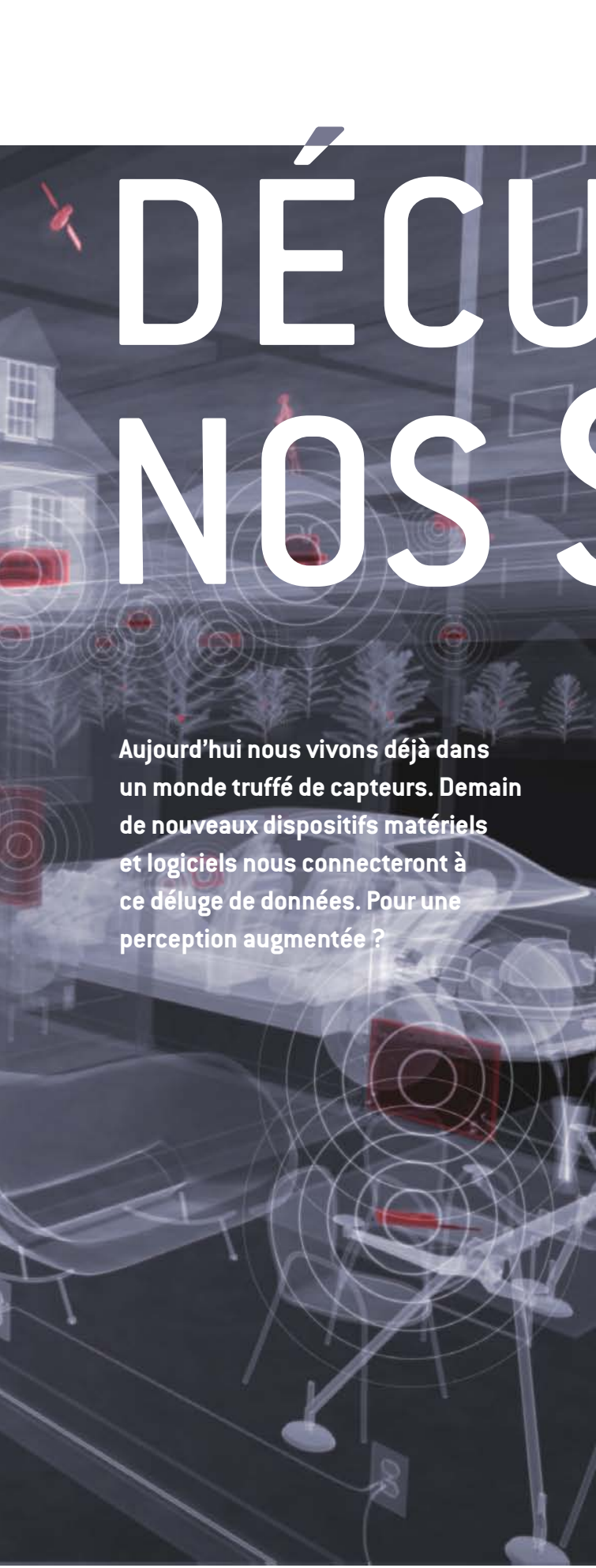
écoutez, réécoutez et podcastez l'émission sur
franceculture.fr

QR code and social media icons (Facebook, Twitter)



L'ESSENTIEL

- Des « navigateurs sur réseaux de capteurs », qui nous permettront d'intégrer les données des capteurs omniprésents dans le monde moderne, sont en cours de développement.
- Grâce à eux, il sera possible de se transporter virtuellement dans des environnements lointains.
- Nous pourrions même percevoir directement les informations grâce à des prothèses sensorielles.
- Il faudra cependant prendre des précautions pour protéger la vie privée.



DÉCOUPLER NOS SENS

Gershon Dublon et Joseph Paradiso

Aujourd'hui nous vivons déjà dans un monde truffé de capteurs. Demain de nouveaux dispositifs matériels et logiciels nous connecteront à ce déluge de données. Pour une perception augmentée ?

Essayez de compter les capteurs électroniques qui vous entourent. Il y a des caméras et des microphones dans votre ordinateur. Des dispositifs de géolocalisation et des gyroscopes dans votre téléphone dernier cri. Des accéléromètres dans votre *fitness tracker* (un appareil portable qui enregistre le rythme cardiaque, la distance parcourue, les calories perdues, etc.). Si vous travaillez ou vivez dans un immeuble moderne, vous êtes entouré de capteurs mesurant le mouvement, la température et l'humidité.

Les capteurs, toujours plus petits, meilleur marché et plus puissants, envahissent notre quotidien. Il y a quelques décennies, les gyroscopes et les accéléromètres étaient chers et encombrants, et de ce fait limités à des applications telles que le guidage de missiles ou de vaisseaux spatiaux ; on en trouve maintenant dans tous les téléphones mobiles récents. En outre, la connectivité du réseau a explosé. Grâce aux progrès réalisés dans la conception des dispositifs microélectroniques, dans la gestion de l'énergie et dans l'exploitation des ondes électromagnétiques, un circuit intégré coûtant moins d'un euro peut relier un système de capteurs à un réseau de communications sans fil de faible consommation.

La quantité d'information créée par la constellation de capteurs installés à travers le monde est prodigieuse, presque inconcevable. Mais la plupart des données nous sont invisibles. Elles sont en général cloisonnées, accessibles à un seul appareil et pour une application spécifique, telle que le contrôle d'un thermostat ou le suivi du nombre de pas effectués dans la journée.

Éliminer ces cloisonnements bouleverserait l'informatique et les communications. Quand des protocoles autoriseront un échange massif de données (plusieurs candidats existent déjà), n'importe quelle application pourra accéder aux capteurs d'un dispositif quelconque.

Mirko Ilić

Nous entrerons alors dans l'ère de l'informatique ubiquitaire, annoncée de longue date – l'informaticien Mark Weiser l'imaginait déjà dans les pages de cette revue il y a un quart de siècle, en 1991.

Nous doutons que la transition soit progressive. Elle devrait plutôt être déclenchée par une innovation majeure, similaire à l'invention du Web. Les prémices du changement sont perceptibles dans des applications pour téléphone mobile telles que *Google Maps* et *Twitter*, autour desquelles ont émergé d'énormes entreprises. Mais le déclic ne se produira que lorsque les données des capteurs seront rendues librement accessibles entre appareils. La prochaine vague d'entreprises technologiques valant des milliards d'euros sera construite autour des agrégateurs de contexte, une nouvelle génération d'applications capables d'assembler et d'exploiter les informations des capteurs qui nous entourent.

Prédire la façon dont l'informatique ubiquitaire et les données des capteurs influenceront sur la vie quotidienne est aussi difficile que l'aurait été, il y a 30 ans, l'anticipation de l'impact d'Internet. Les idées du théoricien des communications Marshall McLuhan (1911-1980), développées dans les années 1960, peuvent servir de guide. Selon lui, les médias électroniques, principalement la télévision, sont devenus une extension du système nerveux humain. Maintenant que les capteurs sont partout et que leurs données peuvent être greffées à la perception humaine par divers moyens, où s'arrêtent nos sens ? Que signifiera le fait d'être présent quelque part quand la perception pourra s'étendre librement à travers le temps et l'espace ?

Visualiser les données des capteurs

Pour percevoir le monde, nous utilisons tous nos sens, tandis que nous n'accédons à l'essentiel des données numériques que par l'intermédiaire des minuscules écrans bidimensionnels des appareils électroniques. Les informations qui nous parviennent passent donc par un goulot d'étranglement. Il serait pourtant intéressant d'exploiter cette manne de données, dont la quantité explose. C'est pourquoi notre équipe au MIT (Institut de technologie du Massachusetts) travaille depuis des années sur des moyens de traduire les données des réseaux de capteurs dans le langage de la perception humaine.

■ LES AUTEURS



Gershon DUBLON est doctorant au *Media Lab* (Laboratoire des médias) du MIT (Institut de technologie du Massachusetts, aux États-Unis), où il développe de nouveaux outils pour interagir avec les capteurs.

Joseph PARADISO est maître de conférence au *Media Lab*. Il y dirige le Groupe des environnements réactifs.

■ EN VIDÉO



Conférence de Gershon Dublon : www.youtube.com/watch?v=f2j5cLayLgM#t=541

De même que les premiers navigateurs du Web, tel *Netscape*, ont rendu accessible la masse d'information présente sur Internet, leurs successeurs donneront du sens aux flots de données issues des capteurs. Les meilleurs outils actuels pour développer ces nouveaux navigateurs sont les moteurs de jeu vidéo – des logiciels qui permettent à des millions de joueurs d'interagir dans des environnements tridimensionnels crédibles et en perpétuel changement.

Avec le moteur de jeu *Unity 3D*, nous avons développé une application nommée *DoppelLab*. Elle collecte les données recueillies par des capteurs placés dans un environnement particulier, tel un bâtiment, et restitue l'information sous forme graphique, en la superposant à une image virtuelle du bâtiment sur un écran d'ordinateur (voir l'encadré page ci-contre). Nous l'avons installée dans notre laboratoire. Ainsi, un utilisateur peut voir en temps réel la température de chaque pièce, le nombre de personnes qui marchent dans une certaine zone, ou même la localisation de la balle sur notre table de ping-pong intelligente.

Un environnement sonore virtuel

DoppelLab ne fait pas que visualiser des données. Il recueille aussi les sons captés par des microphones éparpillés dans le bâtiment et s'en sert pour créer un environnement sonore virtuel. Afin de respecter la vie privée, les flux audio sont brouillés avant d'être transmis. Cela rend les paroles incompréhensibles tout en préservant l'ambiance du lieu et les caractéristiques vocales de ses occupants. Avec *DoppelLab*, il est aussi possible de mettre en scène des données enregistrées dans le passé. On peut observer une scène sous différents angles ou examiner en accéléré les données pour découvrir les cycles cachés de la vie d'un bâtiment.

Les navigateurs sur réseau de capteurs tels que *DoppelLab* ont des applications commerciales immédiates, telle l'instauration de panneaux de contrôle virtuels pour de grands bâtiments. Auparavant, le gardien confronté à un problème de chauffage devait passer au crible les feuilles de données renvoyées par de multiples capteurs de température, afin de repérer les valeurs anormales et déterminer l'origine de la défaillance. Avec *DoppelLab*, cette même personne peut voir simultanément la température actuelle et la

température souhaitée pour chaque pièce, et vite repérer des problèmes touchant plusieurs pièces ou plusieurs étages. De plus, les architectes, les gestionnaires et les occupants du bâtiment ont accès aux données traduisant l'utilisation de l'infrastructure. Où les gens se rassemblent-ils et quand ? Quels effets les éventuels aménagements apportés au bâtiment ont-ils sur la façon dont les gens y interagissent et y travaillent ?

Outre ces applications, les navigateurs sur réseaux de capteurs permettront de se transporter virtuellement dans des endroits lointains et d'y « être » en temps réel. Nous travaillons sur un projet nommé *Living Observatory at Tidmarsh Farms* (Observatoire vivant des Tidmarsh Farms), qui vise à immerger virtuellement des visiteurs dans un environnement naturel changeant.

Depuis 2010, dans le Sud du Massachusetts, un groupe d'organisations environnementales publiques et privées convertit 250 hectares de tourbières, les Tidmarsh Farms, en une zone humide côtière protégée. Notre collègue Glorianna Davenport en est copropriétaire. Ayant travaillé sur l'avenir du documentaire au laboratoire, elle est fascinée par l'idée d'un environnement riche en capteurs produisant son propre « documentaire ». Avec son aide, nous développons des réseaux de capteurs qui renseignent sur les processus écologiques et permettent aux personnes intéressées de s'immerger dans les données produites. Nous avons commencé à installer des centaines de capteurs sans fil mesurant la température, l'humidité, la luminosité, les mouvements, les propriétés du vent, les sons, les flux de

sève dans les arbres et les concentrations de divers composés chimiques.

Économes en énergie, ces capteurs fonctionneront pendant des années avec leurs piles actuelles. Certains seront équipés de panneaux solaires, qui apporteront assez d'énergie pour transmettre des sons : le bruit de la brise, des oiseaux qui chantent à proximité, des gouttes de pluie qui tombent sur les feuilles voisines... Des collègues de l'Université du Massachusetts, à Amherst, équipent Tidmarsh de capteurs perfectionnés, notamment des sondes de température submersibles en fibre optique ou des instruments qui mesurent la quantité d'oxygène dissous dans l'eau. Toutes ces informations seront transmises à une base de données stockée sur nos serveurs et que les utilisateurs pourront explorer *via* diverses applications.

NAVIGUER DANS LES DONNÉES DES CAPTEURS

Le logiciel de navigation conçu par les auteurs, nommé *DoppelLab*, recueille les données de capteurs répartis dans tout le *Media Lab* du MIT et les met en scène dans un modèle translucide du bâtiment. Le navigateur s'actualise automatiquement, de sorte que les utilisateurs peuvent se connecter à tout moment depuis n'importe quel ordinateur et voir ce qui se passe dans une pièce quelconque. La température, les mouvements, le son et d'autres paramètres sont représentés au moyen d'icônes.

Dans chaque bureau, une icône représente la température de la pièce : plus elle est bleue, plus la température est froide, et plus elle est rouge, plus il fait chaud. Si la température diffère de celle réglée au thermostat, une sphère pulsante apparaît autour de la flamme correspondante. Le rythme des pulsations augmente avec l'écart entre les températures mesurée et souhaitée.

Des billes représentent les mouvements des personnes à travers la pièce ainsi que le niveau sonore. Si une pièce devient plus bruyante, des billes supplémentaires apparaissent selon un code couleur déterminé. Si les capteurs détectent des mouvements, les chapelets de billes ondulent.

Si une personne munie d'une radio-étiquette RFID s'approche d'un groupe de détecteurs dans un espace public, un cube portant sa photographie sur chacune de ses faces apparaît.

Des nuages de brouillard représentent l'humidité relative grâce à un code couleur.

Gershon Dubon and DoppelLab Development Team

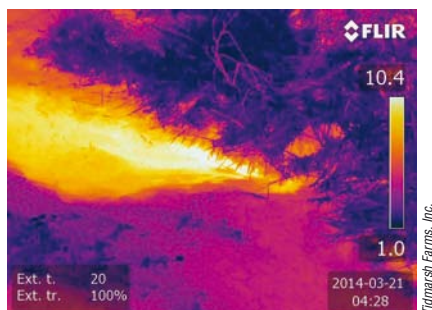
Certaines de ces applications aideront les écologues à visionner les données environnementales recueillies. D'autres seront destinées au grand public. Par exemple, nous développons un navigateur du type de *DoppelLab* qui permettra de visiter virtuellement Tidmarsh à partir de n'importe quel ordinateur disposant d'une connexion Internet. Le visiteur se promènera dans une image numérique des tourbières, remplie d'arbres et de végétation virtuels. Le moteur de jeu ajoutera les sons du réseau de microphones et les données recueillies par les capteurs. Les sons subiront un traitement de fondu enchaîné, en fonction de la position virtuelle de l'utilisateur ; vous pourrez vous élever au-dessus de la zone et entendre tout ce qui s'y passe, vous approcher d'un petit secteur, ou nager sous l'eau et écouter les bruits collectés par les hydrophones. Un vent numérique, fidèle aux données recueillies en temps réel sur le site, soufflera dans les arbres virtuels.

L'Observatoire vivant est plus un projet de démonstration qu'un prototype commercial, mais les applications sont faciles à imaginer. Les agriculteurs pourraient utiliser un tel système pour surveiller des terrains quadrillés de capteurs, afin de suivre l'évolution de l'humidité, les concentrations d'engrais et de pesticides, ou la présence d'animaux dans leurs cultures. Des équipes de secours pourraient surveiller la progression des tempêtes et des inondations dans une ville pendant qu'elles portent assistance aux habitants. Cette technologie aurait aussi de multiples applications dans la vie quotidienne : elle permettrait par exemple de vérifier l'ambiance d'un restaurant (est-il bondé et bruyant ?) avant de s'y rendre.

Une présence virtuelle

Il nous arrive déjà d'utiliser *DoppelLab* pour nous connecter à notre laboratoire quand nous sommes en déplacement. En percevant le bourdonnement et l'activité qui y règnent, nous nous sentons un peu plus proches de chez nous. De même, les voyageurs pourraient s'immerger dans une projection virtuelle de leur domicile pour passer du temps avec leur famille quand ils en sont éloignés.

La prochaine vague de l'informatique sera probablement dominée par les dispositifs portables. Ce sera l'occasion d'inventer des façons plus naturelles d'interagir avec les données des capteurs. Les appareils



LES DONNÉES DE CAMÉRAS INFRAROUGES, placées dans la tourbière des Tidmarsh Farms, sont transmises à des observateurs distants. Ceux-ci peuvent alors repérer de l'eau souterraine (en jaune) qui se mélange à de l'eau de surface, plus froide. La température de cette dernière évolue comme celle de l'air, tandis que celle de l'eau souterraine reste stable toute l'année.

■ BIBLIOGRAPHIE

J. Lifton *et al.*, *Metaphor and manifestation : Cross reality with ubiquitous sensor/actuator networks*, *IEEE Pervasive Computing*, vol. 8(3), pp. 24-33, 2009.

V. Vinge, *Rainbow's End*, Tor Books, 2006.

M. Weiser, *Les réseaux informatiques de l'an 2000*, *Pour la Science*, n° 169, 1991.

électroniques portables pourraient *de facto* devenir des prothèses sensorielles.

Les chercheurs développent depuis longtemps des dispositifs de substitution sensorielle, qui visent à compenser un handicap perceptif en réorientant les signaux électriques émis par des capteurs placés sur le corps vers les sens opérationnels du patient. Par exemple, un dispositif pour non-voyants comprend une caméra placée sur des lunettes et une plaque d'électrodes qui stimule la peau d'une façon caractéristique de l'image enregistrée. Des travaux récents suggèrent que grâce à la neuroplasticité (la capacité du cerveau à s'adapter à de nouveaux stimulus), des stimulus artificiels transmis aux canaux sensoriels pourraient être intégrés de la même façon que des perceptions naturelles. Mais il reste un fossé entre les données de réseaux de capteurs et l'expérience sensorielle humaine.

Des prothèses dirigées par l'attention

Selon nous, l'une des clefs pour débloquent le potentiel des prothèses sensorielles sera de mieux s'accorder avec l'état attentionnel de la personne qui les porte. Aujourd'hui, les dispositifs portables les plus évolués, tels que les *Google Glass*, font office d'assistants extérieurs qui suggèrent à leur propriétaire des informations pertinentes selon le contexte (ils lui recommandent par exemple un certain film lorsqu'il passe devant un cinéma). Mais ces suggestions ont souvent un effet perturbateur, voire agaçant, ce qui n'est pas le cas avec nos systèmes sensoriels. Ces derniers permettent de prêter attention ou pas aux stimulus, et ce de façon dynamique ; on peut se mettre à l'écoute d'un sens quand on l'estime nécessaire, ou choisir de rester concentré sur ses activités.

Nous cherchons alors à développer des dispositifs qui intègrent cette capacité du cerveau à se focaliser sur certaines tâches tout en maintenant une connexion « préattentive » à l'environnement. Notre première expérience déterminera si un dispositif portable peut trouver, parmi un ensemble de sources sonores, laquelle l'utilisateur écoute. Nous aimerions permettre à ce dernier de se mettre à l'écoute des sons retransmis en direct par les microphones et les hydrophones de Tidmarsh de la même façon que s'il s'agissait de sources naturelles. Imaginez que vous vous concentriez sur une île éloignée au milieu d'un étang, et

Une plate-forme expérimentale en France : FIT-IoT LAB

Les problématiques de recherche autour des réseaux de capteurs sont multiples. Elles vont de la miniaturisation et la biodégradabilité des composants aux protocoles de communication, en passant par l'extinction périodique des capteurs pour économiser leur énergie.

Ces recherches ont produit des résultats prometteurs par des simulations, mais elles souffrent d'un manque d'expérimentations. Et si certaines expérimentations sont menées, c'est en général à petite échelle, avec des réseaux composés d'une dizaine de nœuds au plus (car chaque nœud, qui comporte plusieurs capteurs, doit être configuré individuellement, une opération fastidieuse).

C'est pourquoi la plate-forme FIT-IoT LAB a été créée. C'est

l'une des plates-formes de l'« équipement d'excellence » FIT (pour *Future Internet of Things*, futur Internet des objets) régi par l'Université Pierre et Marie Curie, Inria, l'Université de Strasbourg, l'Institut Mines Telecom et le CNRS. FIT fédère plusieurs plates-formes d'expérimentation dans le domaine de l'Internet des objets, ce qui permet à des utilisateurs académiques et industriels de réaliser des expériences.

FIT-IoT LAB (pour *Internet of Things Laboratory*) donne accès

à plus de 2700 capteurs sans fil tels que ceux déployés au MIT ou à Tidmarsh et répartis sur plusieurs sites (Lille, Grenoble, Paris, Strasbourg et Rennes). Plus de 200 d'entre eux sont mobiles, portés soit par des trains électriques miniatures, soit par des robots de divers types. On peut ainsi expérimenter des modèles de mobilité très différents.

FIT-IoT LAB propose à ses utilisateurs des tutoriels et des outils permettant d'estimer finement les consommations énergétiques des capteurs. Lorsqu'un utilisateur souhaite utiliser la plate-forme, il se connecte à distance avec un navigateur Web classique. De là, il réserve les nœuds dont il a besoin (caractéristiques,

nombre, topologie du réseau), configure les éléments qu'il souhaite récupérer au travers de son expérimentation et charge son programme informatique. Lorsque les ressources sont disponibles, le programme est téléchargé automatiquement sur les capteurs choisis et l'expérimentation est lancée. S'il le souhaite, l'utilisateur peut également interagir avec son réseau de capteurs en temps réel.

De par ces caractéristiques, FIT-IoT LAB est une plate-forme unique au monde. Elle compte aujourd'hui plus de 300 utilisateurs (dont une dizaine d'industriels) de plus de 40 pays.

– **Nathalie Mitton**
et **David Simplot-Ryl**
Inria Lille-Nord Europe

que vous commenciez peu à peu à entendre les sons qui en proviennent, comme si vos oreilles étaient capables d'augmenter leur portée. Ou que vous marchiez le long d'un ruisseau et que vous perceviez les bruits produits sous l'eau. Ou encore, que vous leviez le regard et que vous entendiez le chant d'un oiseau en haut d'un arbre. Cette façon de traiter les informations numériques marquerait le début d'une connexion fluide entre nos systèmes sensoriels et les données des réseaux de capteurs. Dans le futur, des implants sensoriels ou neuraux assureront probablement cette connexion.

Rêve ou cauchemar ?

Pour de nombreuses personnes, y compris nous-mêmes, le monde que nous venons de décrire a un côté inquiétant. Cette forme de présence virtuelle changerait notre relation au monde et aux autres. Plus préoccupant, l'informatique ubiquitaire risque d'empiéter sur la vie privée. Mais nous pensons que des garde-fous peuvent être érigés de plusieurs façons.

Il y a une dizaine d'années, Mat Laibowitz, qui travaillait dans notre laboratoire, y a déployé 40 caméras et capteurs. Il a intégré un gros interrupteur à chaque appareil, afin de pouvoir le désactiver faci-

lement. Aujourd'hui, trop de caméras, de microphones et d'autres capteurs sont éparpillés un peu partout pour qu'un individu puisse les éteindre un par un, quand bien même ils seraient équipés d'un interrupteur. Nous devons trouver d'autres solutions.

L'une des approches consiste à concevoir des capteurs qui s'adaptent au contexte et aux préférences de la personne. C'est ce qu'a réalisé Nan-Wei Gong quand elle faisait partie de notre groupe de recherche, il y a quelques années. Elle a construit un porte-clés qui transmettait par les ondes aux capteurs proches les préférences de son utilisateur en matière de vie privée. Son dispositif était doté d'un gros bouton «Non» qui, lorsqu'il était pressé, empêchait tous les capteurs à proximité de transmettre leurs données pendant un certain temps ; l'utilisateur avait alors la garantie d'un instant d'intimité.

Quelles que soient les solutions retenues, les capteurs entourant une personne devront pouvoir honorer de telles requêtes. La conception des protocoles nécessaires présente des défis techniques aussi bien que légaux. Des chercheurs du monde entier étudient déjà diverses approches pour les surmonter. Par exemple, la loi pourrait donner à chacun la propriété des données créées dans son voisinage ; on

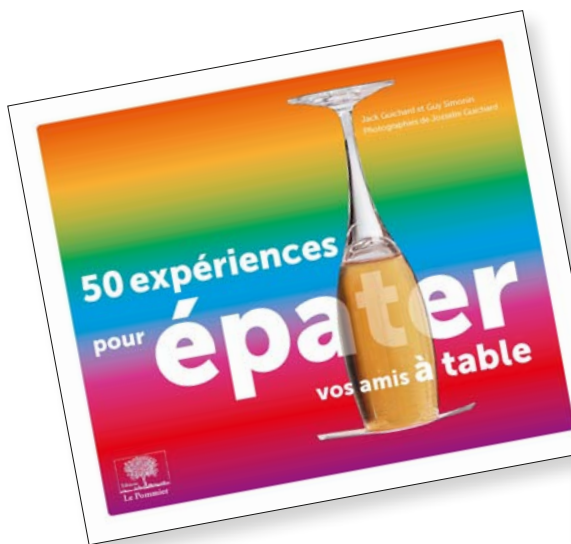
serait alors libre de crypter ces données ou de les empêcher de rejoindre le réseau.

L'un des objectifs du *DoppelLab* et de l'Observatoire vivant est d'analyser dans un espace sécurisé comment se manifestent en pratique ces difficultés liées au respect de la vie privée. À mesure que les dangers de la technologie se révèlent, nous essayons de trouver des solutions. Comme l'illustrent les révélations récentes de l'ancien employé de la NSA Edward Snowden, la transparence est essentielle et les menaces sur la vie privée doivent être prises en compte dans la législation, après un débat public. À défaut, nous pensons que la meilleure protection contre les atteintes du système à la vie privée serait de développer les matériels et logiciels nécessaires aux réseaux de capteurs en *open source*, c'est-à-dire en mettant les informations sur leur fonctionnement à la disposition de chacun.

Pendant ce temps, nous commencerons à vivre de nouvelles expériences dans un monde de capteurs. Les perspectives nous enthousiasment. Selon nous, il est possible de développer des outils qui s'incorporent à notre environnement et à nos corps. Grâce à eux, nous n'aurons plus le nez collé à nos écrans de téléphone et nous serons plus que jamais présents dans le monde qui nous entoure. ■

POUR LA

ou en renvoyant le bon de commande ci-contre.



50 expériences pour épater vos amis à table

Jack Guichard
et Guy Simonin

Réf. 74650544

Retournez votre verre de vin sans en perdre une goutte, transformez l'eau en vin, créez un nuage dans une bouteille, mettez une olive en lévitation ! Des expériences très faciles à réaliser et enrichies d'une explication simple et compréhensible des phénomènes scientifiques en jeu.

Éditions Le Pommier 2013
168 pages – 18,90 €
978-2-7465-0544-5



Micromonde

François Michel et Hervé Conge

Réf. 70117566

Partez à la découverte de l'architecture secrète du monde vivant et du monde minéral. Offrez-vous un voyage dans l'intimité de la nature, accompagné de commentaires joyeux.

Éditions Belin 2014 - 192 pages
23 € - 978-2-7011-7566-9

BON DE COMMANDE

À retourner accompagné de votre règlement à :
Groupe Pour la Science • 628 avenue du Grain d'Or • 41350 Vineuil

☐ **Oui, je commande les livres** présentés dans la sélection de *Pour la Science*. Je reporte les titres, prix et références à 6 chiffres correspondant aux ouvrages choisis :

Titre	Réf.	Prix
		€
		€
		€
		€
		€
Frais de port (4,90 € France – 12 € étranger)		+
Total à régler		=

J'indique mes coordonnées :

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

C.P. : _____ Ville : _____

Pays : _____ Tél. : _____
*facultatif

E-mail : _____
@ _____

*pour recevoir la newsletter Pour la Science (à remplir en majuscules).

Je choisis mon mode de règlement :

☐ par chèque à l'ordre de *Pour la Science*

☐ par carte bancaire

Numéro _____

Date d'expiration _____

Cryptogramme _____

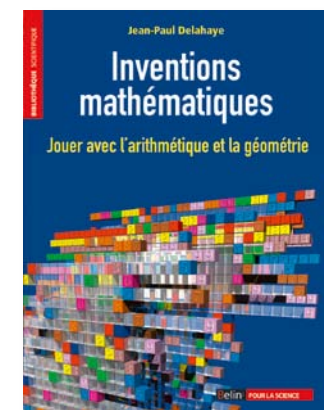
Signature obligatoire

Belin
ÉDITEUR INDÉPENDANT
DEPUIS 1772



En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe *Pour la Science*. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher la case ci-contre ☐.

DPL446 Offre valable jusqu'au 31.12.2014, dans la limite des stocks disponibles.



Inventions mathématiques

Jean-Paul Delahaye

Réf. 84245128

Dans ce livre, vous trouverez des figures paradoxales, des jeux classiques comme le Tangram et le cube de Rubik, des problèmes du quotidien tels le découpage d'une pizza ou l'accrochage d'un tableau, etc.

Éditions Belin-Pour la Science 2014
192 pages - 25 € - ISBN 978-2-8424-5128-8

Tous ces livres sont également disponibles en librairie.