

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

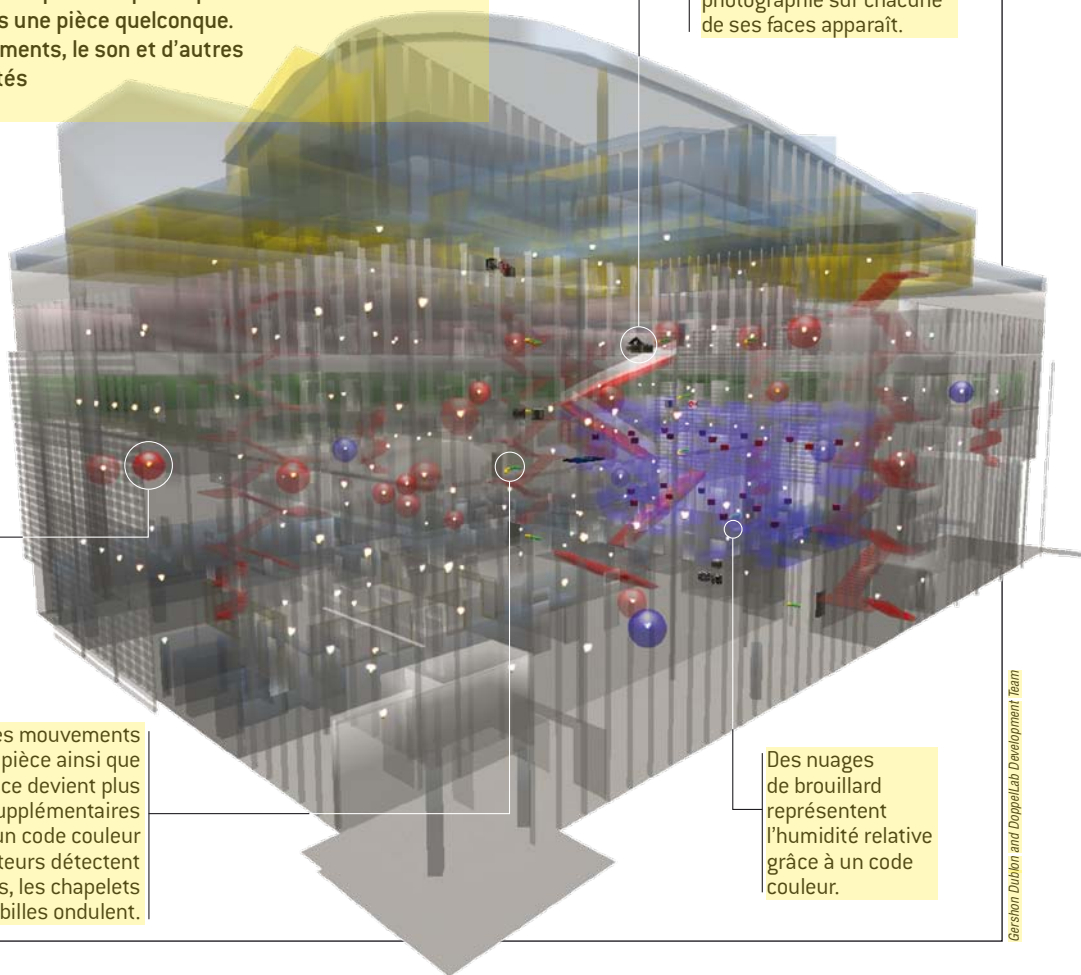
Le logiciel de navigation conçu par les auteurs, nommé *DoppelLab*, recueille les données de capteurs répartis dans tout le *Media Lab* du MIT et les met en scène dans un modèle translucide du bâtiment. Le navigateur s'actualise automatiquement, de sorte que les utilisateurs peuvent se connecter à tout 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.

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.

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.

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



Gershon Dublon and DoppelLab Development Team

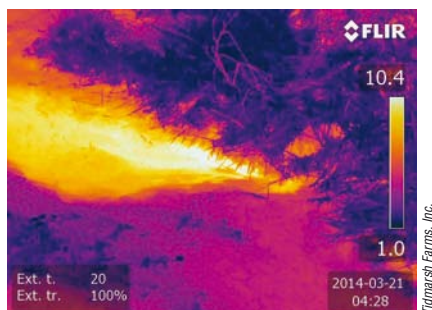
Certaines de ces applications aideront les écologues à visionner les données environnementales recueillies. D'autres seront destinées au grand public. Par exemple, nous développons un navigateur du type de *DoppelLab* qui permettra de visiter virtuellement Tidmarsh à partir de n'importe quel ordinateur 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