

Dans la plupart des régions de l'intestin grêle et du côlon, un système de locomotion hybride suffirait aux médecins pour qu'ils puissent faire un examen visuel détaillé. Mais des situations différentes exigent des solutions différentes. Par exemple, le projet VECTOR a développé trois types de gélules destinés seulement à l'intestin grêle : une capsule caméra passive pour un examen classique ; une gélule de diagnostic, dotée d'un système de locomotion actif et d'un capteur d'imagerie spectroscopique qui détecte des anomalies de la surface du tissu ; et la troisième capsule VECTOR prévue transporterait le même capteur spectroscopique et un outil de biopsie. Ce dernier prélèverait un échantillon de tissu et le stockerait dans la capsule ; puis les médecins le récupéreraient quand la capsule sortirait de l'organisme du patient.

La capacité de faire des biopsies et d'autres gestes thérapeutiques plus complexes, telle une ablation, ferait de ces gélules robots des outils exceptionnels. Mais plusieurs difficultés restent à résoudre : la faible puissance embarquée disponible et les contraintes d'espace et de couples moteurs. Avec une unique gélule de deux centimètres cubes, il est pour l'instant impossible d'atteindre des objectifs thérapeutiques plus ambitieux, qui nécessiteraient des mouvements compliqués et de multiples actionneurs.

S'auto-assembler dans l'organisme

En conséquence, nous travaillons sur un nouveau concept : des robots chirurgicaux qui s'assemblent eux-mêmes dans l'organisme. Voyons de quoi il s'agirait. Le sujet boirait un liquide distendant l'estomac, puis avalerait jusqu'à 10 à 15 gélules. Chacune serait un composant miniaturisé, avec des électroaimants à chaque extrémité. Une fois dans l'estomac, ces capsules, guidées par le chirurgien de l'extérieur, s'assembleraient automatiquement pour former la structure souhaitée.

Un chirurgien utiliserait alors ce robot assemblé comme un outil sans fil : il pourrait opérer sans avoir besoin de faire la moindre incision externe. L'acte chirurgical terminé, les liaisons magnétiques entre les capsules seraient reconfigurées ou rompues, ce qui permettrait aux différentes parties d'être éliminées par les selles. Nous avons fabriqué un premier prototype constitué de capsules de deux centimètres cubes environ, motorisées et télécommandées. Chaque capsule pourrait porter un capteur, par exemple une caméra ou des instruments chirurgicaux spécialisés.

Les composants robotiques miniaturisés pourraient aussi avoir d'autres fonctions. Les systèmes de contrôle et les caméras mis au point pour les capsules vidéo-endoscopiques influencent déjà d'autres techniques biomédicales, tels les endoscopes classiques et les dispositifs utilisés pour les laparoscopies (l'examen de l'intérieur de l'abdomen). Au-delà des soins médicaux, on constate une tendance à la miniaturisation et à la commande sans fil de robots multifonctionnels. Les gélules robots serviront sans doute d'exemples pour d'autres machines utilisées dans de tout autres domaines. ■



UNE GÉLULE HYBRIDE GUIDÉE par des électroaimants externes se déplace dans le côlon d'un cochon, en utilisant ses pattes pour ajuster sa position et repousser le tissu environnant.

Arianna Mencias

Opérer à distance

On peut étendre la gamme des tâches que peuvent effectuer les gélules robots en les concevant de sorte qu'elles s'auto-assemblent dans l'organisme. Le patient avalerait une douzaine de gélules ; dans l'estomac, ces gélules s'assembleraient pour former un robot. Les chirurgiens contrôlèrent ce dispositif à distance, sans fil. Lorsque l'acte chirurgical serait terminé, le robot se scinderait en capsules, qui passeraient sans difficulté dans le tube digestif.

Une configuration chirurgicale possible



Frank Hülshömer

LES AUTEURS



Paolo DARIO et Arianna MENCIASSI sont professeurs de robotique biomédicale à l'École supérieure Sant'Anna de Pise, en Italie.

✓ BIBLIOGRAPHIE

K. Harada et al., *Wireless reconfigurable modules for robotic endoluminal surgery*, *Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Kobe, Japon, 2009.

P. Valdastris et al., *Wireless therapeutic endoscopic capsule: in vivo experiment*, *Endoscopy* 2008, vol. 40, pp. 979-982, 2008.

A. Moglia et al., *Wireless capsule endoscopy: from diagnostic devices to multipurpose robotic systems*, *Biomedical Microdevices*, vol. 9, pp. 235-243, 2006.

Un démon de Maxwell pour REFROIDIR LES ATOMES

Mark Raizen

Une expérience de pensée du XIX^e siècle inspire une technique permettant de manipuler des atomes afin de les ralentir et d'abaisser leur température à des valeurs proches du zéro absolu.

L'ESSENTIEL

✓ Les méthodes usuelles pour refroidir les gaz à une température proche du zéro absolu ne fonctionnent que pour certains éléments.

✓ En combinant deux nouvelles techniques, on peut refroidir des atomes de presque tous les éléments, voire certaines molécules.

✓ Un canon magnétique « inversé » ralentit d'abord les atomes. On poursuit le refroidissement par une technique inspirée du « démon de Maxwell », imaginé vers 1870.

✓ Les applications vont de l'étude des propriétés des particules élémentaires à la séparation d'isotopes.

Pendant que vous lisez ces lignes, des molécules filent autour de vous à 3 000 kilomètres par heure, vous bombardant de tous côtés, tandis que les atomes et molécules dont vous êtes constitué virevoltent, vibrent et entrent sans cesse en collision. Dans la nature, rien n'est parfaitement immobile : tout bouge en permanence. Et plus les atomes et les molécules vont vite, plus ils portent de l'énergie. Cette énergie collective et désordonnée, nous la ressentons à notre échelle sous forme de chaleur.

Le repos total, correspondant à la température du zéro absolu (zéro kelvin, soit $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$), est physiquement impossible. Pourtant, les scientifiques s'approchent de plus en plus de cette limite. Dans ces conditions extrêmes, d'étranges effets quantiques se manifestent. En parvenant à refroidir un gaz d'atomes jusqu'à une petite fraction seulement au-dessus du zéro absolu, les physiciens ont pu observer la matière se comporter comme une onde et concevoir des appareils de mesure de plus en plus précis.

Les techniques de refroidissement les plus répandues ne sont applicables qu'à

un nombre restreint d'éléments du tableau périodique de Mendeleïev, ce qui limite leur utilisation. Ainsi, refroidir l'hydrogène, le plus simple de tous les atomes, a longtemps donné du fil à retordre aux physiciens. La nouvelle méthode de refroidissement que mon équipe a mise au point parvient désormais à refroidir très efficacement la plupart des éléments, tout comme de nombreuses molécules.

Pour relever ce défi technique, je me suis inspiré du physicien écossais du XIX^e siècle, James Clerk Maxwell, auteur d'une expérience de pensée dans laquelle il a théorisé l'existence d'un « démon » violant les lois de la thermodynamique...

Ce démon constitue la base d'une technique inédite de cryogénie. De nouvelles voies de recherche s'ouvrent et conduisent à de nombreuses applications. On pourrait purifier des isotopes rares, utiles en médecine comme en recherche fondamentale. Ce « superfroid » contribuerait à l'amélioration des méthodes de fabrication des puces électroniques à l'échelle nanométrique, et à la conception d'horloges atomiques encore plus précises. Côté recherche, le refroidissement extrême