



L'ESSENTIEL

✓ Les gélules caméras permettent de voir l'intérieur du tube digestif, mais leur utilisation et leur précision restent limitées.

✓ Aujourd'hui, on développe des gélules robots actives : elles disposent de « bras », d'outils chirurgicaux, et peuvent être contrôlées sans fil. Leurs déplacements dans l'organisme sont précis.

✓ La miniaturisation de composants robotiques pour accomplir différentes tâches dans le corps humain reste un défi technique.

européennes ont formé un consortium avec l'IMC : les scientifiques mettent au point des capsules robots pour la détection et le traitement de tumeurs.

Notre équipe, à l'École supérieure Sant'Anna de Pise, en Italie, sous la direction médicale de Marc Schurr à Tübingen en Allemagne, est responsable de la coordination scientifique et technique de ce projet. Il se nomme VECTOR (*Versatile Endoscopic Capsule for gastrointestinal TumOr Recognition and therapy*), le projet visant à créer une capsule endoscopique polyvalente pour l'identification et le traitement des tumeurs gastro-intestinales.

Ces groupes universitaires et industriels ont proposé diverses solutions au problème principal, à savoir le contrôle du déplacement des gélules dans l'organisme. La plupart des solutions reposent sur une ou deux approches fondamentales. La première impose de diriger le mouvement de la capsule avec des « actionneurs » embarqués, c'est-à-dire des parties mobiles telles que des pales, des pattes ou autres dispositifs de propulsion intégrés dans la coque et capables de se déployer quand la gélule est dans le tube digestif. Les actionneurs, contrôlés par des moteurs miniatures, permettent le plus souvent de diriger la capsule, mais, dans certains cas, les bras articulés peuvent aussi écarter les tissus autour de la capsule ; l'examen ou le passage dans une section rétrécie de l'intestin sont alors facilités.

Beaucoup d'énergie

Les moteurs et les transmissions, tels les engrenages, sont grands comparés au volume d'une gélule ; l'ajout d'autres parties essentielles – le capteur pour fournir des images ou un outil de biopsie – pose problème. De plus, pour distendre un tissu, une capsule doit exercer une force importante, correspondant à 10 à 20 fois son poids. Cet effort suppose que les moteurs aient des couples élevés, et donc une puissance importante (environ un demi-watt). Cette consommation d'énergie est contraignante (pour les batteries), ce qui limite la durée de fonctionnement des robots.

Comment économiser l'énergie des batteries ? Il ne faudrait utiliser les actionneurs que pour la propulsion et trouver d'autres façons de distendre les tissus. Par exemple, l'absorption d'un demi-litre d'eau juste avant d'avaler une gélule contrôlée par une hélice distend l'estomac

Frank Hülsmeyer

pendant 20 minutes (puis le liquide s'écoule dans l'intestin grêle). Pendant ce temps, la gélule pourrait examiner la paroi de l'estomac.

Les besoins en énergie des actionneurs ont conduit certains chercheurs à développer une autre approche : l'application de champs magnétiques, créés à l'extérieur de l'organisme par des électroaimants, qui commandent sans fil le mouvement des capsules. En 2005, les sociétés *Olympus* et *Siemens* ont présenté un système de guidage magnétique de leur gélule caméra. Le dispositif engendre une rotation de la gélule ; ce mouvement en tire-bouchon produit un léger frottement qui permet à la capsule de « creuser » dans les replis du tube digestif.

Bien que l'utilisation d'électroaimants contrôlant une capsule endoscopique dans l'intestin soit simple, il est difficile de diri-

ger la gélule avec fiabilité. Les champs magnétiques perdent de la puissance avec la distance, et, avec la géométrie irrégulière de l'intestin, des modifications soudaines de l'intensité du champ magnétique peuvent faire bouger au hasard la capsule ou interrompre le contrôle magnétique. En pratique, à cause de cette instabilité, un opérateur peut perdre tout contact avec la gélule et être incapable de la retrouver. On pourrait améliorer le contrôle et la stabilité en ajoutant des électroaimants, mais au prix d'un encombrement plus important du système.

Étant donné les limites de ces deux approches, interne et externe, qui commandent les mouvements de la gélule, nous avons combiné ces méthodes et trouvé une solution indolore qui fournit des diagnostics fiables. Un contrôle magnétique externe permet de localiser

grossièrement la gélule dans l'intestin ; et des actionneurs semblables à des pattes modifient sa position et optimisent l'angle de vue de la caméra.

Des robots hybrides

Nous avons conçu une telle gélule hybride, avec quatre pattes actionnées par des moteurs, et l'avons testée chez le cochon, dont les intestins ont les mêmes dimensions que ceux de l'homme. Les pattes sont repliées lorsque la capsule est avalée et durant la plus grande partie de son voyage dans le tube digestif. Un générateur de champ magnétique externe, placé près de l'abdomen de l'animal, guide la capsule. Quand celle-ci atteint une partie de l'intestin où les parois se sont affaissées, elle soulève le tissu alentour avec les pattes pour pouvoir continuer son chemin.

DES MINIROBOTS ACTIFS DANS LE TUBE DIGESTIF

Pour fabriquer des robots miniatures fonctionnant dans le tube digestif, les ingénieurs doivent trouver les moyens de commander sans fil leur déplacement et les mouvements des outils qu'ils embarquent. Et ils doivent placer ces outils (les camé-

ras et la batterie par exemple) dans une gélule suffisamment petite pour qu'un patient puisse l'avalier. Voici quelques exemples des fonctions de ces robots minuscules et les techniques mises en œuvre.

Se déplacer

Les mouvements des robots endoscopiques peuvent être commandés soit par des actionneurs embarqués, tels des pattes, des pales, des hélices ou des appendices semblables à des cils, soit par des champs magnétiques engendrés à l'extérieur du corps du patient.



Distendre des tissus

Une façon d'écarter les tissus – pour libérer un passage ou obtenir une image – est de doter le robot de bras puissants qui peuvent exercer une poussée. Une méthode consommant moins d'énergie consiste à faire boire de l'eau au patient : le liquide distend le tube digestif et permet à une capsule propulsée par des hélices de « naviguer ».

Capsule dotée de bras



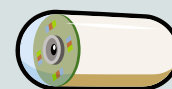
Capsule « naviguant » avec des hélices



Estomac distendu

Soigner

Une capsule peut transporter différents outils : une caméra spectroscopique qui voit sous la surface d'un tissu ; une pince pour faire une biopsie du tissu ; ou un réservoir qui contient une dose de médicament.



Caméra spectroscopique



Pince pour biopsie



Réservoir de médicament