

# La chirurgie robotique tient-elle ses promesses?

François Pugin, Pascal Bucher, Nicolas Buchs, Francesco Volonté, Monika Hagen, Philippe Morel

Service de Chirurgie Viscérale, Département de Chirurgie, HUG, Genève

## Quintessence

- La chirurgie robotique est un domaine en plein essor et constitue un changement important avec l'interposition d'une interface électromécanique entre le patient et le chirurgien. Elle s'inscrit dans l'évolution logique de la chirurgie minimalement invasive, répondant aux limitations intrinsèques de la laparoscopie.
- Les indications de la chirurgie robot-assistée, qui est entrée dans l'arsenal thérapeutique de toutes les disciplines chirurgicales, sont les interventions complexes, avec des procédés de reconstruction techniquement difficile.
- Dans ce domaine en constante évolution, les innovations, comme la nouvelle plateforme destinée à la chirurgie par orifice unique, démontre l'intérêt d'un apport technologique au développement de la chirurgie minimalement invasive.
- L'exploitation de l'interface robotique ouvre des perspectives dans de nombreux domaines, comme celui de la réalité virtuelle pour la formation chirurgicale et la planification préopératoire, ou celui de la réalité augmentée avec l'intégration de données variées (radiologiques, anatomiques, chirurgicales) pendant une intervention.

## Introduction

L'histoire de la chirurgie endoscopique remonte au début du siècle précédent avec les travaux de Kelling (1901) et Jacobeus (1911), qui en définissent les principes fondamentaux. Il faudra attendre une innovation technologique, l'apparition en 1969 des capteurs CCD (charged coupling devices) ou dispositif à transfert de charge, pour voir se développer la chirurgie minimalement invasive. Ces capteurs, couplés à un endoscope, permettent la conversion de la lumière visible en un signal analogique, qui peut être amplifié, numérisé, traité, aboutissant à une image numérique visible sur un écran. La chirurgie vidéo-laparoscopique se diffusera alors rapidement dans le domaine de chirurgie gynécologique au cours des années 1970, et à la fin des années 1980 en chirurgie digestive après les cholécystectomies réalisées par Eric Mühe en 1985 et Philippe Mouret en 1987. Aujourd'hui l'éventail des interventions réalisées en laparoscopie ne cesse de s'accroître, avec des bénéfices bien démontrés par rapport à la chirurgie ouverte en termes de diminution du séjour hospitalier, du taux de complications pariétales et de la douleur postopératoire, d'amélioration des résultats cosmétiques et de retour plus rapide à une activité normale. Cette approche nécessite cependant un

entraînement spécifique pour l'acquisition de compétences propres à cette technique et à ses limitations. En effet, en chirurgie minimalement invasive, le chirurgien ne contrôle plus la vision du champ opératoire qu'il visualise sur un écran n'offrant qu'une image bidimensionnelle (2D), sans profondeur de champ. De plus, les instruments utilisés ne possèdent que quatre degrés de liberté avec un point d'entrée fixe réalisant un effet de bras de levier qui amplifie l'amplitude des mouvements, ce qui diminue la précision du geste chirurgical et accentue le tremblement physiologique. L'approche laparoscopique possède donc des limitations qui lui sont propres. L'introduction d'une interface robotique (informatique et électromécanique) permet la digitalisation du geste chirurgical et de l'image. Ceux-ci peuvent ensuite être traités et modifiés pour améliorer leurs propriétés. Le but de cette revue est de décrire comment la chirurgie robotique apporte des solutions aux limitations intrinsèques de la laparoscopie et d'en analyser les résultats.

## Définition

Le terme tchèque *Robota*, introduit en 1921 par l'écrivain Karel Čapek et signifiant «travail forcé, corvée», a donné naissance au terme robot dont le sens a évolué depuis. Il peut être défini aujourd'hui comme un système technologique capable d'effectuer des tâches spécifiques de manière automatique selon un programme fixe ou modifiable. Au sens strict du terme, les systèmes robotiques actuellement utilisés en chirurgie ne sont donc pas des robots à proprement parler, mais des systèmes de manipulation d'instruments. Les systèmes capables d'effectuer ces tâches à distance portent le nom de télémanipulateur. Il s'agit de système «master-slave» ou «maître-esclave» n'accomplissant pas de tâche automatique mais obéissant aux commandes du chirurgien, vocales ou manuelles.

## Historique

Les robots sont entrés dans le monde chirurgical il y a plus de vingt ans, s'adressant d'abord aux disciplines chirurgicales disposant de repères anatomiques fixes, comme la neurochirurgie ou l'orthopédie. En chirurgie viscérale, la mobilité des organes rend la réalisation de telles procédures plus complexe. Cependant, le développement, notamment sous l'impulsion de l'armée américaine, de systèmes capables d'interventions chirurgicales commandées à distance (téléchirurgie) don-



François Pugin

Dr M. Hagen a une obligation financière avec «Intuitive Surgical». Les autres auteurs n'ont pas déclaré d'obligations financières ou personnelles en rapport avec l'article soumis.

nera naissance à divers télémanipulateurs robotiques, dont le système DaVinci® (Intuitive Surgical, Sunnyvale, CA). A ce jour, 1840 robots de ce type ont été installés, dont 1344 aux Etats-Unis et 330 en Europe. En Suisse 15 systèmes sont actuellement utilisés.

### Le robot DaVinci®

Le système robotique DaVinci® est composé de trois éléments:

- la console du chirurgien,
- le chariot-patient (le robot à proprement parler) porteur des bras articulés,
- la tour d'imagerie, similaire à une tour de laparoscopie.

Le chariot patient est composé des bras qui supportent la caméra et les instruments (Endowrist®). Ces derniers, munis d'articulations à leurs extrémités, miment les

**Le terme tchèque *Robota* signifie «travail forcé, corvée»**

mouvements du poignet et possèdent sept degrés de liberté.

La console du chirurgien est constituée d'un système de vision bino-

culaire stéréoscopique qui transmet l'image de l'endoscope comportant deux caméras. Chaque caméra transmet une image à un œil différent, offrant ainsi une image tridimensionnelle du champ opératoire.

Deux poignées ou manettes transmettent les mouvements des mains du chirurgien pour la commande des instruments et de l'optique. Il s'y associe un dispositif de démultiplication des mouvements d'une échelle de 1:1 à 5:1, ainsi qu'un module de filtration permettant la suppression du tremblement physiologique. Le pédalier commande la coagulation et la gestion des mouvements de la caméra et des instruments.

La tour de vision comporte un insufflateur, une source lumineuse et une double caméra et est surmontée d'un écran.

En résumé, les avantages potentiels de cette interface robotisée par rapport à la laparoscopie conventionnelle sont multiples: augmentation de la dextérité et de la précision du geste chirurgical par la présence d'instruments à sept degrés de liberté, par la suppression du tremblement physiologique et par la démultiplication des mouvements et une vision tridimensionnelle et stable du champ opératoire commandée par le chirurgien.

### Applications cliniques

Une dizaine d'années après l'approbation de système DaVinci® (DV) par la FDA pour son utilisation en chirurgie digestive, pratiquement toutes les interventions dans ce domaine ont été réalisées par cette approche, de la greffe rénale au prélèvement de foie chez le donneur vivant en passant par la duodéno-pancréatectomie céphalique. En raison de son coût élevé, la réalisation avec le robot DV d'interventions simples ou d'un niveau de complexité intermédiaire ne présente pas d'avantages par rapport à la laparoscopie conventionnelle,

mais représentent toutefois un excellent choix pour l'apprentissage de la chirurgie robot-assistée [1]. Le champ d'application de la chirurgie robotique s'adresse donc aux interventions dans lesquelles la laparoscopie rencontre ses limites (oesophagectomies, gastrectomies, exérèse du rectum, hépatectomies, pancréatectomies). En chirurgie bariatrique, l'assistance robotique pour le bypass gastrique permet de diminuer significativement la morbidité postopératoire comparativement à la laparoscopie (taux de fuites et sténoses anastomotiques).

Aujourd'hui, 80% des prostatectomies pour cancer sont réalisées à l'aide d'un robot aux Etats-Unis. Cette proportion, certes plus faible en Europe, ne cesse de croître chaque année. Bon nombre d'urologues sont passés de la prostatectomie radicale par voie ouverte à la prostatectomie robot-assistée, illustrant ainsi la contribution de cette technologie au développement et à la diffusion de l'approche minimalement invasive. En gynécologie, l'utilisation du robot DV augmente de façon très importante ces dernières années, pour des indications comme l'hystérectomie ou la myomectomie. Plus récemment, le robot DV est entré dans l'arsenal thérapeutique des chirurgiens ORL pour l'abord transoral de diverses pathologies comme les cancers du pharynx et du larynx. Le système DV est également utilisé en chirurgie pédiatrique, avec des instruments de taille réduite, et permet la réalisation d'interventions impliquant des reconstructions complexes, hépatobiliaires ou des voies urinaires.

### Coûts

L'utilisation d'un système robotique DV engendre des dépenses importantes, représentées par le coût élevé de l'acquisition du système (environ 1 800 000 CHF), mais aussi de celui de sa maintenance (environ 120 000 CHF/an) et de l'instrumentation spécifique (env. 200 à 300 CHF/utilisation d'instrument). La prolongation des temps d'occupation de salles d'opération, en partie imputable au temps de préparation («setup») et mise en place du robot («docking») entraîne également un surcoût. L'entraînement des équipes permet de réduire

**80% des prostatectomies pour cancer sont réalisées à l'aide d'un robot aux Etats-Unis**

ces temps à des valeurs acceptables. Nous avons démontré dans notre expérience que malgré ce surcoût, la diminution de la morbidité après bypass gastrique robot-


assisté avait un impact économique majeur, rendant l'approche robotique plus avantageuse en termes de coûts hospitaliers globaux [2].

### Apprentissage

Il est incontestable que la chirurgie robot-assistée nécessite un apprentissage additionnel, qui doit idéalement s'effectuer au sein d'une équipe incluant tous les intervenants d'une salle d'opération. L'existence de divers simulateurs dédiés à la chirurgie robotique permet

au chirurgien de se familiariser avec cette technologie (manipulation de la console chirurgicale). Des cours spécifiques sont dispensés aux instrumentistes et aux chirurgiens par des centres de référence, dont le rôle formatif est primordial étant le nombre restreint de systèmes implantés. La courbe d'apprentissage spécifique à chaque intervention est également facilitée par la possibilité de coupler une seconde console à celle du chirurgien, permettant d'opérer en «duo». Le chirurgien novice est accompagné d'un mentor lors d'une intervention, ce qui réduit la courbe d'apprentissage et augmente la sécurité lors de son accomplissement.

### Chirurgie par orifice unique

La version actuelle du système DV peut intégrer une nouvelle plateforme destinée à la chirurgie par orifice unique. En effet, cette approche, en plein essor depuis quelques années, possède de nombreuses limitations principalement liées à l'instrumentation. Un set d'instruments semi-rigides, introduits à travers des canules courbes (fig. 1 ) , dont l'intersection se fait au niveau de l'orifice unique (habituellement situé à l'ombilic), permet d'éviter les collisions entre les bras du robot [3] et de retrouver une dextérité similaire à la laparoscopie conventionnelle. Nous avons constaté lors de notre expérience initiale que ce système facilitait la cholécystectomie par abord unique, dans un collectif de patients non sélectionnés, présentant notamment une obésité. Il est certain que dans un avenir proche ces développements techniques contribueront à l'extension des indications et à la diffusion plus large de la chirurgie par orifice unique.

### Perspectives

L'imagerie médicale est un domaine en constante évolution et n'est plus réservé aux radiologues. Osirix, un logiciel «open source», développé en partie dans notre institution, permet aux néophytes de visualiser et manipuler des examens radiologiques avec simplicité et de reconstruire des images en plusieurs dimensions. Il devient donc possible et facile de planifier une intervention et d'en prévoir les étapes critiques sur un modèle virtuel (réalité virtuelle). L'interface informatique d'un système robotique chirurgical permet également de superposer au champ visuel du chirurgien des données anatomiques en trois dimensions extraites à partir d'un CT scan (réalité augmentée). Finalement, en couplant les deux procédés de la réalité virtuelle (planification préopératoire) et de la réalité augmentée (superposition de données anatomiques actualisées en temps réel) et en les intégrant à un système robotique, il devient alors possible d'imaginer l'automatisation de certaines tâches chirurgicales.

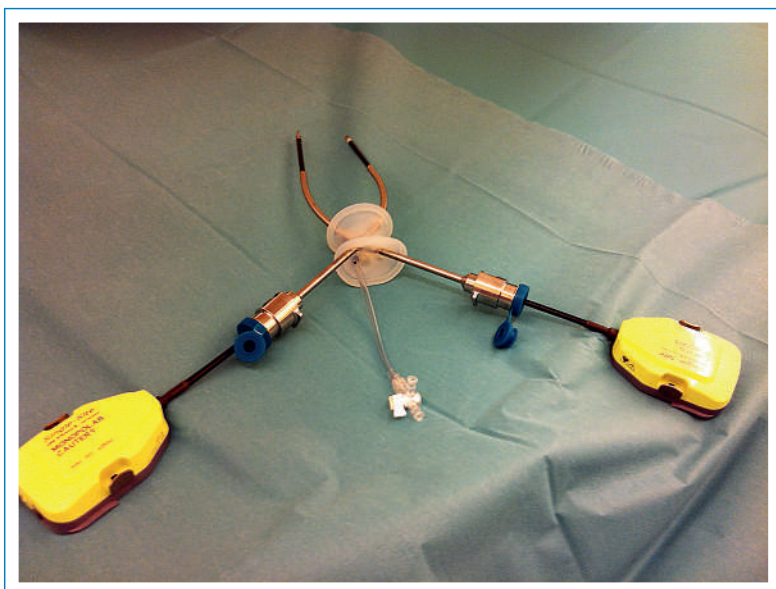
En conclusion, en termes de faisabilité et de sécurité, le système robotique DV a donc maintenant largement tenu ses promesses et s'intègre dans une évolution naturelle et logique de la chirurgie minimalement invasive, en apportant une solution aux limites de cette dernière. L'éventail des indications ne cesse de croître actuellement dans toutes les disciplines chirurgicales. Son adoption est plus lente dans certaines spécialités, principalement en raison de son coût élevé et des limitations techniques du système. Parmi ces dernières, citons le manque de retour de force sur les instruments, l'absence d'agrafeuses mécaniques ou l'encombrement du robot. Ces facteurs expliquent probablement la diffusion restreinte de la chirurgie robotique en chirurgie colorectale. Dans un avenir proche, des études randomisées, incluant également une analyse économique devraient permettre de mieux cerner et définir les indications de la chirurgie robotique.

#### Correspondance:

Dr François Pugin  
Chirurgie Viscérale  
Département de Chirurgie  
Hôpitaux Universitaires de Genève  
4, rue Gabrielle-Perret-Gentille  
CH-1211 Genève 14  
[francois.pugin\[at\]hcuge.ch](mailto:francois.pugin[at]hcuge.ch)

#### Références

- Herron DM, Marohn M. SAGES-MIRA Robotic Surgery Consensus Group. A consensus document on robotic surgery. *Surg Endosc.* 2008;22(2):313–25.
- Hagen ME, Pugin F, Chassot G, Huber O, Buchs N, Iranmanesh P, et al. Reducing cost of surgery by avoiding complications: the model of robotic roux-en-y gastric bypass. *Obes Surg.* 2011 May 3. [Epub ahead of print]
- Haber GP, White MA, Autorino R, Escobar PF, Kroh MD, Chalikhonda S, et al. Novel robotic da Vinci instruments for laparoendoscopic single-site surgery. *Urology.* 2010;76(6):1279–82.



**Figure 1**  
Set d'instruments pour la chirurgie par orifice unique.

**CME [www.smf-cme.ch](http://www.smf-cme.ch)**

1. Quelle est la proposition *inexacte* pour le système robotique DaVinci®?

- A C'est un robot chirurgical effectuant des tâches automatiques.
- B Il possède un système de vision tridimensionnelle.
- C Il utilise des instruments à 7 degrés de liberté.
- D Ceux qui l'utilisent majoritairement sont les urologues.
- E Il permet d'opérer à distance (téléchirurgie).

2. Quelle est la proposition *inexacte* pour la chirurgie par orifice unique robot-assistée?

- A Elle améliore l'ergonomie et la dextérité.
- B Elle permet d'étendre les indications par cette approche.
- C Elle est maintenant largement répandue.
- D Elle utilise principalement l'ombilic comme accès abdominal.
- E C'est une chirurgie en plein essor.