

# La robotique chirurgicale. La télé-microchirurgie, l'irrésistible avènement

## *Surgical Robotic Telemicrosurgery, the irresistible advent*

par Michel A. GERMAIN\*

Depuis trente-cinq ans, l'auteur évalue à l'École de chirurgie des Hôpitaux de Paris, les différentes techniques de micro-suture : suture au fil qui demeure la méthode de choix, les anneaux M.A.S. (*Microsurgical Anastomosis System*), la colle biologique, la suture au laser, les micro-agraves non transfixiantes<sup>1</sup>. Quant à l'intervention, elle est encore réalisée « manuellement » et reste aux mains du chirurgien sur le champ opératoire même. Dans l'éventualité d'une évolution par commande à distance dans le domaine « micro »- chirurgical, il convient d'évaluer tout l'intérêt du robot Da Vinci®.

Alexis Carrel, prix Nobel 1912, a réalisé les premières transplantations de membres chez l'animal, puis Jacobson à New York, en 1960, a effectué la première intervention sous microscope opératoire, utilisant le terme de microchirurgie. Dès lors l'irrésistible avènement de la microchirurgie débute.

La robotique chirurgicale apparaît avec la télé chirurgie. Le principe est de remplacer le chirurgien au niveau du champ opératoire par un système robotisé commandé à distance.

---

Séance du 17 février 2023

\* m.a.germain@orange.fr

L'histoire de la télé-chirurgie a commencé dans les années 1990<sup>2</sup>, quand le JPL (*NASA's Jet Propulsion Laboratory*) (National Aeronautics and Space Administration) inaugure le projet « Hazbot<sup>®</sup> »<sup>2</sup>, un robot destiné à l'exploration en toute sécurité de sites potentiellement dangereux (désamorçage de bombes), au transport de matériaux hautement toxiques (déchets nucléaires), voire à l'opération chirurgicale d'astronautes malades séjournant dans la station spatiale internationale, par des chirurgiens restés sur terre. L'impossibilité de transmission des données en temps réel a fait échouer le projet. L'armée américaine s'est emparée du concept pour le transposer en chirurgie de guerre, pensant limiter ainsi l'exposition au danger des chirurgiens militaires, qui auraient opéré à distance les soldats blessés sur les champs de bataille<sup>3</sup>.

En 1989, une société de robotique médicale, *Computer Motion*, a développé le projet « Aesop<sup>®</sup> », un robot destiné à mouvoir une caméra de chirurgie laparoscopique, dont plusieurs versions successives ont été conçues avec des fonctionnalités évolutives : contrôle vocal, mise en réseau, augmentation des degrés de liberté du bras portant la caméra. En 1995, des bras portant des instruments chirurgicaux ont été ajoutés à « Aesop<sup>®</sup> », qui prit alors le nom de « Zeus<sup>®</sup> ». Ce dernier pouvait recevoir alternativement sur ses trois bras vingt-huit instruments différents, parmi lesquels bistouris, écarteurs, ciseaux, et pinces. Mais sa principale caractéristique était de filtrer numériquement le tremblement physiologique<sup>4</sup>, ce qui fit entrer définitivement la télé-chirurgie dans l'ère de la chirurgie du présent, concrétisée par l'obtention d'une autorisation de la FDA (Food and Drugs Administration).

En 1995, une autre société de robotique médicale, *Intuitive Surgical*<sup>©</sup>, a développé le robot « Da Vinci<sup>®</sup> », en collaborant avec des sociétés commerciales et des institutions de recherche telles l'Institut de recherche de Stanford, le MIT (Massachusetts Institute of Technology), IBM (International Business Machine), Heartport Incorporation, Olympus Optical, et Ethicon Endo-Surgery. Le robot « Da Vinci<sup>®</sup> », premier robot de chirurgie laparoscopique<sup>5</sup> supplanta rapidement tous ses concurrents, et la société *Intuitive Surgical*<sup>©</sup> absorba la société *Computer Motion*. Cette position dominante lui permit de développer une nouvelle étape majeure de la robotique chirurgicale : une main miniaturisée du nom d'« Endowrist<sup>®</sup> », dotée de sept degrés de liberté offrant un choix considérable de mouvements. Cette petite merveille reproduit la mobilité et la dextérité de la main du chirurgien en temps réel. L'« Endowrist<sup>®</sup> » autorise non seulement une très haute précision de la gestuelle, mais aussi une souplesse telle que la rotation des instruments chirurgicaux à 360° à travers n'importe quelle mini incision devient possible. Le principe de la télé- microchirurgie est issu de la télé

chirurgie. Toutefois, le robot « Da Vinci<sup>®</sup> » ne peut accomplir aucune décision : il n'a aucun pouvoir.

## Matériel

Le robot Da Vinci S<sup>®</sup> comporte trois parties : un chariot mobile muni de plusieurs bras articulés (de trois à six), un chariot d'imagerie, et une console qui permet au chirurgien de diriger les bras articulés du chariot mobile. (Fig. 1)

Le chariot mobile comporte dans sa version classique quatre bras articulés, dont trois portant des instruments chirurgicaux, et le quatrième, l'optique visualisant le champ opératoire. Chacun de ces bras possède plusieurs articulations permettant un déplacement tridimensionnel des instruments chirurgicaux et de l'optique. Les trois bras dédiés aux instruments chirurgicaux possèdent une articulation intracorporelle dotée de mouvements de circumduction de 360° (Endowrist<sup>®</sup>). Ces instruments peuvent être des pinces à disséquer, des ciseaux, un porte aiguille, un bistouri, etc. (Fig. 1). Le quatrième bras porte la caméra.



**Fig. 1** - Le robot chirurgical Da Vinci<sup>®</sup> comporte trois parties : console, instruments et informatique : c'est la disposition générale. Au premier plan la console du chirurgien, au second plan les instruments au-dessus de la table d'opération, et à droite les écrans de contrôle montrant la vision du champ opératoire.

Le chariot d'imagerie comporte une colonne vidéo analogue à celle utilisée en chirurgie endoscopique, avec toutefois deux sources lumineuses et deux caméras permettant une vision tridimensionnelle avec un grossissement progressif jusqu'à vingt fois.



**Fig. 2** - *L'enseignement de la robotique grâce à deux consoles intégrant l'élève et le maître.*

La console du télé-chirurgien est équipée d'un système optique, de deux poignées de télémanipulation et d'un pédalier. Le système optique, appelé visionneuse stéréo, offre une vision tridimensionnelle du champ opératoire et affiche des messages de textes et d'icônes qui rendent compte de l'état de fonctionnement du système en temps réel. Les deux poignées de télémanipulation permettent la manipulation à distance des quatre bras articulés portant les instruments chirurgicaux et la caméra. Les poignées ne peuvent manipuler que deux bras articulés à la fois. Un système de débrayage au pédalier permet facilement à l'opérateur de changer de bras articulé au cours de l'intervention. Le pédalier permet aussi de régler la focale et la netteté du champ opératoire, et d'autre part de conserver à l'écran de la visionneuse stéréo une position optimale des instruments chirurgicaux grâce à un dispositif de débrayage.

Une assistante, souvent infirmière, est indispensable pour modifier les axes des bras du robot, voire changer les instruments défaillants. Ceux-ci sont munis d'une puce qui permet leur utilisation dix fois seulement. L'installation des bras du robot nécessite une indépendance spatiale, l'absence de conflit des bras pour ne pas se percuter.

Il existe en France 280 robots Da Vinci et 8 000 robots dans le monde. Plus de trois millions d'interventions avec robot sont réalisées par an. L'enseignement théorique en robotique comporte des manifestations ludiques avec les plots à déplacer avec les bras du robot. L'origami est un art de plier une feuille de papier. Le lombric, ou vers de terre ayant la consistance des artères est très utilisé en robotique chirurgicale. La durée pour passer un fil de suture et le nouer est de 1 minute.

## Indications

La robotique chirurgicale et la télé-chirurgie ont déjà trouvé de larges applications en vidéo chirurgie cardio-thoracique<sup>6</sup>, viscérale, urologique<sup>7</sup>, et gynécologique<sup>8</sup>. Ce succès est lié aux propriétés exceptionnelles des poignées de télémanipulation qui respectent l'autonomie du chirurgien : augmentation des degrés de liberté (sept), finesse du geste opératoire grâce à la démultiplication des mouvements (six fois) et au filtrage des tremblements de l'opérateur, miniaturisation instrumentale, intervention à distance, diminution de la durée de l'hospitalisation<sup>9</sup>. La robotique chirurgicale possède néanmoins un inconvénient non encore résolu : la perte des sensations tactiles, qui peut être compensée par un apprentissage visuel rapidement efficace, et une durée opératoire un peu supérieure à la chirurgie conventionnelle, mais améliorable avec l'expérience et l'entraînement.

La robotique chirurgicale et la télé-microchirurgie, discipline transversale par excellence, sont apparues dès 1998, avec la première anastomose d'artère coronaire<sup>10</sup>. La première micro-suture sans thoracotomie sous télémanipulateur a suivi. Puis ont été publiées quelques études expérimentales de sutures vasculaires de calibre millimétrique<sup>11,12</sup>, nerveuses<sup>13</sup>, et une greffe de membre antérieur chez le porc<sup>14</sup>. À ce jour, plusieurs études rapportent l'utilisation clinique en microchirurgie avec le robot<sup>11</sup>.

Parmi les avantages de la robotique chirurgicale et de la télé-microchirurgie, les deux plus importants sont la disparition du tremblement physiologique de l'opérateur et la démultiplication des mouvements jusqu'à six fois, qui améliorent nettement la précision du geste opératoire. Tous les utilisateurs de télémanipulateurs l'affirment. Il existe plusieurs publications comparant la microchirurgie conventionnelle à la télé microchirurgie : les résultats sont comparables en termes de qualité de réparation, un confort opératoire bien meilleur avec les télémanipulateurs. Seule la durée opératoire est encore en faveur de la microchirurgie conventionnelle (40 min contre 30 min dans notre expérience). Celle-ci diminuera probablement avec les progrès de l'instrumentation, puisque le Da Vinci S<sup>®</sup> ne possède pas encore d'instrumentation spécifique pour la microchirurgie. Le RAMS (*Robotic Assisted Microsurgery*), est le seul télémanipulateur dédié à la télé-microchirurgie, mais sa diffusion reste encore confidentielle<sup>15,16</sup>. Par ailleurs, les télémanipulateurs ont un autre avantage encore peu exploré par rapport à la microchirurgie conventionnelle, le faible encombrement spatial du champ opératoire, qui permet à deux opérateurs<sup>14</sup> pilotant chacun un robot chirurgical, de pratiquer ensemble des réparations vasculo-nerveuses microchirurgicales, et donc de gagner du temps opératoire. En effet, en

microchirurgie conventionnelle, du fait de l'encombrement du microscope et des avant-bras des chirurgiens, il est impossible de faire opérer deux microchirurgiens dans le même champ opératoire. Ce gain de temps est important, notamment pour des interventions de replantation ou de revascularisation, particulièrement chronophages, où la durée d'ischémie est l'une des clés du succès. En attendant, plusieurs auteurs ont rapporté d'excellents résultats de sutures vasculaires<sup>11,15,16</sup>, et nerveuses<sup>13</sup>. L'absence de rétrocontrôle tactile n'a jamais été un obstacle pour la plupart des chirurgiens<sup>17</sup>, même pour réaliser des sutures microchirurgicales très fines. Cet aspect fait actuellement l'objet de recherches qui déboucheront probablement sur la restitution de la sensation cutanée par le biais de senseurs tactiles virtuels<sup>18</sup>.

D'autres progrès techniques en robotique concernent les aides techniques : l'échographie per-opératoire est utile surtout pour distinguer les ganglions métastatiques et ceux qui sont seulement inflammatoires. Le Doppler peropératoire est précieux pour vérifier la perméabilité des micro-anastomoses. Le Water-flow est utile pour aider à la dissection. La surveillance des opérés est réalisée pendant et après les interventions avec un ECG et habituellement avec un EEG.

La durée de formation des jeunes chirurgiens est de l'ordre de deux mois. Il faut mentionner l'exploit du Professeur Jacques Marescaux, directeur de l'IRCAD à Strasbourg, qui en 2001 depuis New-York a opéré sa malade à l'hôpital de Strasbourg. La télétransmission se faisait par les câbles sous-marins.

## Conclusion

L'assistance opératoire par un robot chirurgical est du domaine du présent<sup>19</sup>. Utiliser un robot chirurgical potentialise non seulement les capacités sensorielles, mais aussi la gestuelle. Il est en effet doté d'une vision tridimensionnelle étendue<sup>5</sup> depuis la macroscopie jusqu'à la microscopie par un simple mouvement de pédale (pédalier), sans porter de lunettes ni de loupes binoculaires, sans manipuler un encombrant microscope opératoire, sans revêtir aucune tenue stérile ni même avoir effectué un lavage chirurgical des mains. Il n'est gêné par aucun tremblement physiologique<sup>20</sup>, possède deux, trois, voire quatre mains, dont chacune est capable d'une précision extraordinaire<sup>21-23</sup>.

Au total, la robotique chirurgicale et la télé-microchirurgie remplaceront probablement, au moins dans les centres spécialisés, la microchirurgie conventionnelle<sup>24</sup>. Une société savante<sup>25</sup> a déjà été créée pour la promouvoir : *Robotic Assisted Surgery of the Hand Society* ([www.rash-society.org](http://www.rash-society.org)).

## RÉSUMÉ

L'assistance opératoire par robot chirurgical est du domaine du présent. Le principe est de remplacer le chirurgien au niveau du champ opératoire par un système robotisé commandé à distance. La robotique utilise une interface informatique entre le chirurgien et le patient. Le robot Da Vinci est doté d'une vision tridimensionnelle étendue, grâce à deux sources lumineuses et à deux caméras. Il possède deux, trois voire quatre mains ayant une précision extraordinaire. Les propriétés exceptionnelles des poignées de télémanipulation respectent l'autonomie du chirurgien : augmentation des degrés de liberté (sept), finesse du geste opératoire grâce à la démultiplication des mouvements (six fois) et au filtrage des tremblements de l'opérateur, grossissement optique jusqu'à vingt fois, intervention à distance. Toutes ces qualités répondent aux besoins de la microchirurgie.

## SUMMARY

*Robotic surgery is a present possibility. The principle is to replace the surgeon in the operating field by a surgical robot. The Da Vinci<sup>®</sup> robot has a tridimensional vision, thanks to two lights and two cameras. It has two, three, or four hands with an extraordinary precision. The handles of telemanipulation respect the autonomy of the surgeon: increase of the liberty (7 times), delicacy of the operative movement thanks to reducing the movements (six times) and to the filtration of the trembling of the surgeon, optic magnification (twenty times), distant operation. All these qualities answer to the needs of microsurgery.*

## NOTES

- 1) ABOU ALTOUT S., TALEB C., LIVERNEAUX P., Télémedecine et urgences main : étude de faisabilité. *Ann. Chir. Plast. Esth.* 2010 ; 55 : 8-13
- 2) BLAVIER A., GAUDISSERT Q., CADIÈRE G.B., NYSSSEN A.S., Perceptual and instrumental impacts of robotic laparoscopy on surgical performance. *Surg. Endosc.* 2007; 65 :80-91.
- 3) BLAVIER A., GAUDISSERT Q., CADIÈRE G.B., NYSSSEN A.S., Impact of 2D and 3D Vision on performance of novice subjects using Da Vinci robotic system. *Acta Chir. Belg.* 2006; 106 :662-664.
- 4) BRESSLER L., Place de l'assistance robotique par le système Da Vinci en chirurgie digestive et endocrinienne. *Ann. Chir.* 2006 ; 131 :299-301.
- 5) COHN L.H. Futures directions in cardiac surgery. *Am. Heart Hosp. J.* 2006; 4:174-178.
- 6) COHN M.B., LAM M., FEARING R.S., Tactile feedback for teleoperation. (Telemanipulator technology, Boston, MA, USA, 15-16 Nov. 1992). *Proceedings of the SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 1993; 1833: 240-254.
- 7) GALLUN A.R. Masson's Secret. Astounding Stories, 1 vol., 1939.

- 8) KATZ R.D., ROSON G.D., TAYLOR J.A., SINGH N.K., Robotics in microsurgery: Use of a surgical robot to perform a free flap in a pig. *Microsurg.* 2005; 25:566-569.
- 9) LIVERNEAUX P., NECTOUX E., TALEB C. The future of robotics in Hand Surgery. *Chir. Main.*, 2009; 28 (5) :278-285.
- 10) MARESCAUX J., LEROY J., GAGNER M., RUBINO F., MUTTER D., VIX M. Transatlantic robot-assisted telesurgery. *Nature* 2001; 413:379-380.
- 11) MAROHN MR, HANLY EJ. Twenty-first Century Surgery Using Twenty-first Century Technology: Surgical Robotics. *Curr. Surg.* 2004; 61:466-473.
- 12) NECTOUX E, TALEB C, LIVERNEAUX P. Nerve repair in telemicrosurgery: an experimental study. *J Reconstruc. Microsurg.* 2008; 25(4):261-265.
- 13) NELSON B., Comparison of length of hospital stay between radical retropubic prostatectomy and robotic assisted laparoscopic prostatectomy. *J. Urol.* 2007; 177:929-931.
- 14) PANDE R.U., PATLE Y., The telecommunication revolution in the medical field: present applications and future perspective. *Curr. Surg.* 2003; 6:636-640.
- 15) ROSSON G.D. Robotic-assisted Microsurgery. *J. Reconst. Microsurg.* 2005; 16:17-18.
- 16) SARAF S., Role of robot assisted microsurgery in plastic surgery. *Indian J. Plastic Surg.* 2006; 39:57-61.
- 17) SMITH A., SMITH J., JAYNE D.G., Telerobotics: surgery for the 21<sup>st</sup> century. *Surgery* 2006; 24:74-78.
- 18) STEPHENSON E.R., SANKHOLKAR S., DUCKO C.T., DAMIANO R.J., Successful endoscopic coronary artery bypass grafting. An acute large animal trial. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1998. 116:1071-1073.
- 19) STONE H.W., EDMONDS G., HAZBOT: A hazardous materials emergency response mobile robot. *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation* 1992. 1:67-73.
- 20) TALEB C., NECTOUX E, LIVERNEAUX P, Telemicrosurgery: a feasibility study in a rat model. *Chir. Main* 2008; 28:104-108.
- 21) TALEB C., NECTOUX E., LIVERNEAUX P, Limb replantation with two robots: a feasibility study in a pig model. *Microsurgery*, 2009; 29: 232-235.
- 22) TAYLOR R.H., JENSEN P, WHITCOMB L., BARNES A., KUMAR R., STROIANOVICI D., GUPTA P, KAVOUSSI L., A steady-hand robotic system for microsurgical augmentation. *Inter. J. Robotics Res.*, 1999; 18:1201-1210.
- 23) VAN DER HULST R. Microvascular anastomosis: is there a role for robotic surgery? *J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg.* 2007; 60:101-102.
- 24) ZORN KC. Robotic radical prostatectomy learning curve of a fellowship-trained laparoscopic surgeon. *J. Endourol.* 2007; 21:441-447.
- 25) GERMAIN M.A, MARANDAS P, DUBOUSSET J., MASCARD E., LEGAGNEUX J., Les transplants libres. 25 ans de microchirurgie vasculaire. Bilan. Perspectives. *Bull. Acad. Natle. Med.* 2004 ; 188 : 441-458.

## Abréviations

NASA : National Aeronotics and Space Administration

FDA : Food and Drugs Administration

MIT : Massachusetts Institute of Technology