

***Compte-rendu de la conférence débat du 26 mai 2005 :
LA TELECHIRURGIE***

Intervenants :

- Docteur Nicolas Bonnet, chirurgien, service de Chirurgie Thoracique et Cardiovasculaire de l'Hôpital de la Pitié-Salpêtrière, Paris.
- Docteur Adrian Lobontiu, chirurgien, service de Développement Clinique Chirurgie Robotique et Télé Chirurgie, Intuitive Surgical Europe, St Germain en Laye (78).

Conférence animée par Henri-Pierre Penel, *La Recherche*.

Introduction de Henri-Pierre Penel :

Aux yeux du grand public, l'avantage principal qu'offre la télé chirurgie est la possibilité d'opérer à longue distance. Télé = à distance. Or pour le chirurgien, les avantages principaux sont tout autres :

- les bras virtuels
- la précision opératoire
- le système de retour de force, bien qu'encore imparfait.

Présentation du Dr. Nicolas Bonnet :

La robotique et la télé chirurgie sont liées dans le domaine médical.

Au départ, il y a eu un projet du gouvernement de la défense aux USA et de la NASA : pouvoir opérer à distance les soldats américains blessés de guerre se trouvant sur un champ de bataille ou sur un navire. Exclure les chirurgiens du champ de bataille permettait de ne pas les exposer (un chirurgien coûte cher à former !)

Il fallait un «robot» destiné à opérer les blessés de guerre sur le champ de bataille.

L'enjeu technologique de l'opération à distance est d'arriver à compenser les retards liés à la transmission entre la «console maître» et les «bras esclaves». La première opération à distance a été réalisée avec le matériel de chirurgie assistée par ordinateur de la société [Computer Motion](#) ®, la société concurrente d'[Intuitive Surgical](#) ® à cette époque.

NB : Le 7 mars 2003, les deux sociétés ont signé un accord de fusion, mettant fin à la concurrence entre elles, et aux litiges concernant les brevets, autorisations et autres patentes.

L'intérêt de la télé chirurgie réside à présent principalement dans le fait de pouvoir opérer dans la salle à côté, et non de pouvoir opérer à distance en accomplissant un geste chirurgical «qui traverse l'Atlantique». Le Dr. Nicolas Bonnet a parlé du «coup de robot», c'est à dire du «coup de main» : un chirurgien expérimenté va prêter main forte à un collègue moins expérimenté, qui est en train d'opérer en télé chirurgie dans le même hôpital et a besoin de l'aide d'un expert : le chirurgien expérimenté va *switcher la console maître sur les bras esclaves et donne ainsi le coup de robot* au chirurgien moins expérimenté.

Dans les langues slaves, travailler se dit «robota», d'où le robot qui :

- exécute les tâches dangereuses derrière un écran protecteur
- exécute des tâches diverses et plus ou moins autonomes

Les téléopérateurs utilisés actuellement en chirurgie ne sont pas des robots. Ils sont utilisés par le chirurgien et ne sont pas autonomes.

La nécessité du robot réside dans l'extension de l'activité humaine à des zones dangereuses. En chirurgie, ces zones dangereuses sont situées dans le corps humain : maladies contagieuses, zones difficiles d'accès pour la main du chirurgien (d'où l'intérêt d'opérer en mini invasif).

L'utilisation des robots en médecine :

- à l'hôpital, sur mesure pour les patients (prothèses)
- les robots préleveurs de sang, de peau
- pourquoi pas les robots gardes-malades dans un futur imaginable ?

Les robots chirurgicaux :

- Les télémanipulateurs : on manipule une « console maître » qui transmet des instructions à un ou plusieurs « bras esclave(s) » qui exécutent le geste. A ces bras sont fixés des trocars qui tiennent les instruments chirurgicaux. Ces

instruments vont exécuter les gestes transmis depuis la « console maître ». Dotés d'une grande souplesse, les instruments font preuve d'une dextérité comparable au poignet humain. Le Dr. Nicolas Bonnet a parlé de « poignet intraqualitaire ». Ce poignet va opérer sur des organes mous et creux.

- La stéréotaxie : elle désigne les consignes programmées afin d'exécuter un geste sur mesure, en fonction du patient dont on pré programme l'opération. Elle relève donc de la simulation pré opératoire et permet d'opérer « en dur », c'est-à-dire en mode de simulation, grâce à des logiciels, sur les organes virtuels du patient, en tenant compte de sa morphologie. Application : training, préparation d'une opération à venir (répétition des gestes au préalable).

L'idée de productivité, que l'on associe souvent au travail du robot, n'est pas pertinente dans le cas du «robot» chirurgical. Bien sûr, on peut trouver des robots médicaux qui fonctionnent dans une optique de productivité, comme c'est le cas pour le traitement de la cataracte, mais dans le cas de la télé chirurgie qui permet d'opérer des organes mous en endoscopie, ce qui importe est :

- L'amélioration qualitative de l'acte chirurgical
- L'amélioration ergonomique pour le chirurgien : celui-ci étant mieux positionné pour opérer, la qualité du geste n'est pas perturbée (plus de tremblements, moindre fatigue du chirurgien...)

Les «robots» multidisciplinaires :

Ils permettant d'opérer «pour du mou et du creux» (= des organes). Ce sont les plus intéressants pour les chirurgiens, car ils permettent de réaliser des économies. Par multidisciplinaire, on entend : qui peut servir en chirurgie cardiaque, digestive, gynécologique, urologique, vasculaire, pédiatrique.

Petit rappel : la neurochirurgie est exclue de cette multidisciplinarité puisqu'elle concerne un organe, le cerveau, qui, en principe, n'est pas creux !

Les robots multidisciplinaires :

AESOP™ : ex. : AESOP 3000 : robot porte optique (stabilité de l'image, ergonomie et confort).

ZEUS™ (société *Computer Motion*®) : chirurgie endoscopique.

DA VINCI™ (société *Intuitive Surgical*®) : chirurgie endoscopique : caméra : vision stéréoscopique en 3 D ; mobilité intracorporelle : 6 degrés pour la mobilité des instruments, plus un degré pour l'ouverture et la fermeture de la pince, soit 7 degrés de mobilité des instruments.

NB : les instruments de chirurgie laparoscopique comportent moins de degrés de liberté : moindre mobilité des instruments.

Les «robots» spécialisés :

Ils sont destinés aux opérations stéréotaxiques (lorsqu'on prévoit une opération, répétition au préalable) : il s'agit de définir une cible sur laquelle le téléopérateur travaille.

Quel est l'intérêt d'un téléopérateur pour les chirurgiens ?

Ces téléopérateurs sont pilotés au moyen d'une structure électronique et mécanique complexes. On trouve le même principe d'équipement dans les avions Airbus (qui ne sont d'ailleurs plus équipés de manches, mais de *joysticks*) et pour la direction assistée dans les véhicules auto.

Les avantages : précision du geste chirurgical, dextérité, ergonomie, nouvelles technologies (ex : *Plug and Play*™, littéralement : « on branche et ça marche » !), troisième main (puisque le système de télé chirurgie *da Vinci*™ a trois bras pour tenir les instruments, et un bras pour tenir la caméra). Le Dr. Nicolas Bonnet a parlé de «poignet intra thoracique».

En tant que chirurgien usager de la console *da Vinci*™, le Docteur Nicolas Bonnet a parlé :

- du retour de force (en anglais le «tactile feedback»), qu'il juge comme restant à améliorer. Le retour de force est la sensation tactile qu'a le chirurgien par le truchement des «joysticks» qu'il manipule à la console et qui doivent l'informer des propriétés du tissu ou de l'organe sur lequel il travaille : est-il proche d'une zone à risque, quelle résistance rencontrent les instruments qu'il manipule ? Le retour de force désigne, en les appliquant au contexte de télé chirurgie ou chirurgie endoscopique, toutes les sensations tactiles du chirurgien qui opère en chirurgie traditionnelle, en ayant les mains dans le corps du patient.
- de la gestuelle des nœuds en chirurgie mini invasive : faire des nœuds reste difficile en chirurgie laparoscopique (coelioscopie). En chirurgie robotique endoscopique, avec le *da Vinci*™, la gestuelle des nœuds est plus simple, grâce aux 7 degrés de liberté / de mobilité des instruments. Il y a donc un réel progrès.

Le Dr. Bonnet a insisté sur le fait que le téléopérateur ne sait rien faire tout seul, le chirurgien fait tout. Il est donc inapproprié de parler de «robot», comme si le chirurgien programmait une intervention et appuyait sur un bouton pour son exécution. Il a souhaité rassurer le grand public en soulignant le rôle du chirurgien qui continue à contrôler l'intégralité du déroulement de l'opération, dans ses moindres détails.

Même si, pour reprendre l'exemple de la gestuelle du nœud, le chirurgien contrôle tout, on peut néanmoins envisager qu'à l'avenir, le robot aura un rôle plus important dans la confection de la boucle du nœud.

- du « chirurgien Vishnou » : le troisième bras du robot confère en effet une troisième main au chirurgien pour opérer dans le corps du patient. Si on inclue le bras du robot qui tient la caméra, le chirurgien à sa console, tel Vishnou, est doté de quatre bras.

Utilisation des robots chirurgicaux en neurochirurgie : un travail de repérage

La stéréotaxie et la réalité augmentée sont utilisées afin de superposer des images avec un système de recalage de ces images pendant que le neurochirurgien opère. Cela lui permet de voir des choses invisibles à l'œil, d'éviter de créer des lésions dans une structure noble. Un projet de recherche et développement dans ce domaine consiste à rendre possible une réaction du robot lorsqu'une manœuvre demandée par le chirurgien est illicite. Ceci n'existe pas encore, mais est à l'état d'évaluation. Un autre projet dans ce domaine est de faire en sorte que le robot puisse être piloté en fonction des données du scanner.

Des exemples de «robots» :

HIPPOCRATE : reproductibilité du geste, robot spécifique dédié au télédiagnostic. Selon un projet en cours de développement avec l'armée, ce robot va manipuler des instruments de diagnostic. Il permettra donc de faire l'économie d'experts en diagnostic, mais non de chirurgiens.

HERMES : commande vocale des instruments de la salle d'opération : table, scialytiques (= éclairage chirurgical et opératoire), colonne vidéo. Il est utile dans les applications en salle d'opération et appartient à la télé chirurgie.

TELE CHIRURGIE < TELE MEDECINE < NTIC

NTIC = Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication.

Enseignement et robots :

Des chirurgiens grâce au robot :

- Copilotage : enseignement de la chirurgie aux plus jeunes. Le chirurgien formateur peut avoir du mal à passer la main, à «lâcher prise» et à laisser faire son étudiant en situation d'opération réelle. En situation d'opération virtuelle (= on révisé l'opération avant d'opérer), il pourra plus facilement passer la main.
- Couplage : robots simulateurs. Economie de cadavres et d'animaux à l'entraînement. De plus, les simulateurs du robot peuvent simuler des pathologies, or les animaux et sujets (=cadavres humains) qui servent à l'entraînement n'ont pas ces pathologies. Le but est donc de diminuer la courbe d'apprentissage (moins d'essuyage de plâtres).

Présentation du Dr. Adrian Lobontiu :

L'aventure de la chirurgie robotique a commencé en 1995 aux USA, avec la fondation de la société *Intuitive Surgical Inc.* en Californie. Cette société fabrique et commercialise le système de chirurgie assistée par ordinateur *da Vinci™*. Aujourd'hui, plus de 70.000 patients ont été opérés avec le système *da Vinci™*, et il en existe actuellement plus de 300 installés dans le monde.

Quatre hôpitaux Parisiens sont équipés d'un système *da Vinci™*, ainsi qu'un CHU à Nancy et une clinique Bordelaise.

En 1998, la toute première intervention chirurgicale à distance en mini invasif a été réalisée par l'équipe du Professeur Carpentier à Paris : il s'agissait d'un pontage coronarien.

Trois générations de chirurgie :

- La chirurgie classique
- La chirurgie mini invasive : laparoscopie – coelioscopie (instruments + caméra)
- La chirurgie robotique :
 - Les instruments de chirurgie robotique du système *da Vinci™* bénéficient de la technologie Endowrist® : les mouvements des instruments dans le corps du patient sont semblables à ceux accomplis par les tendons du poignet humain.
 - La console vidéo est équipée de la vision en 3 D *InSite®*, ainsi que d'infrarouges pour la sécurité du patient opéré.
 - L'insufflateur permet de créer une cavité pour introduire les instruments.
 - Le robot est muni de quatre bras chirurgicaux : trois pour les instruments, un pour la caméra.

Le système *da Vinci™* se compose de trois parties :

- La console du chirurgien, équipée du système de vision en 3 D
- La colonne vidéo
- Le statif de chirurgie

Etapas de l'opération avec un système de chirurgie assistée par ordinateur :

- La connexion et les réglages : on effectue les réglages en connectant ces trois parties. Si la connexion est incorrecte ou inexistante, le système envoie un message d'erreur. Sécurité patient !
- La stérilisation du système, des bras chirurgicaux et des instruments.
- L'incision du patient afin d'introduire les trocars.
- L'assistant du chirurgien (« stérile ») règle les bras du robot en vue d'introduire les instruments. Il existe différents réglages des bras pour différents types d'intervention.
- Le chirurgien qui opère s'installe à la console et ajuste la visionneuse stéréo. L'image est fusionnée pour avoir une véritable image en 3 D (profondeur).

NB : le *da Vinci™* est équipé de la meilleure image en 3D disponible sur le marché à l'heure actuelle.

- Le chirurgien procède au réglage des *joysticks* et des pédales de débrayage. L'action de débrayage permet de naviguer dans le champ opératoire afin de préserver la qualité optimale du geste chirurgical à tout moment. Pour cela, le chirurgien appuie sur la pédale «caméra» pour «naviguer» (c'est-à-dire changer de lieu) dans le corps du patient. L'action *Zoom* lui permet de naviguer avec l'image.
- Le chirurgien règle la pédale de coagulation (mono polaire, bipolaire).

Particularités du système da Vinci™ :

- *1300 fois par seconde, un aller-retour a lieu entre le bout des instruments qui opèrent dans le corps du patient et le moniteur. Si problème (conflit entre les bras chirurgicaux, pression), un message d'erreur apparaît. Il y a donc un feedback permanent entre l'opérateur à la console et le télémanipulateur.*
- *A la console, la profondeur du champ opératoire est fournie par un système optique à trois canaux. La visionneuse stéréo fournit une image stéréoscopique 3D. Pour opérer en chirurgie cardiaque (opération à cœur battant), on calibre les images et on les superpose (œil droit, œil gauche) afin d'obtenir une image optimale du cœur à opérer.*
- *Le «robot» est doté d'une mémoire : lorsque l'opérateur change les instruments, le robot mémorise et recalcule en intégrant les nouveaux paramètres (nouvel instrument, nouveau champ opératoire suite à action du chirurgien sur la pédale de débrayage). L'opération pourra donc reprendre, avec les nouveaux paramètres, exactement là où elle en était restée avant le changement de paramètres.*
- *La démultiplication du geste chirurgical doit être choisie par le chirurgien à la console : ex. : échelle 5 à 1 : 5 cm de mouvement à la console impliquera 1 cm de mouvement au bout des instruments, ce qui permet de réaliser une anastomose très précise, par ex. avec du fil 8.0 (non visible à l'œil nu !)*
- *L'image est magnifiée de 15 à 20 fois.*
- *Il importe de bien positionner les trocars. A défaut survient une pression de l'extérieur entraînant le blocage des bras du robot. Il y aura conflit et le chirurgien à la console sera bloqué.*
- *Développement du 4^{ème} bras chirurgical : le chirurgien «solo» : le chirurgien a trois mains dans le corps du patient. De sa console, il peut «switcher» d'une main à l'autre. Il a donc plus de possibilités dans le geste chirurgical.*
- *La visionneuse stéréo de la console chirurgicale est complexe : elle est munie de plusieurs icônes, par ex. celle pour le débrayage. L'opérateur peut consulter le monitoring du patient (IRM, doppler, échographie) à sa console, sans avoir à se déplacer.*

Quelques [applications](#) :

- Cardiaque : opération à cœur battant. Plus besoin de pratiquer la circulation extracorporelle (CEC) !
- Digestive / générale
- Gynécologique : reperméabilisation tubaire, par ex.
- Pédiatrique : on imagine sans peine les avantages d'une opération en mini invasif sur les enfants !
- Urologique : prostatectomie radicale (cancer de la prostate)
- Vasculaire : exemple : pontage aorto-fémoral : en opérant en chirurgie robotique, il n'est plus nécessaire d'inciser l'aorte !

Projets de recherche :

- Simulation du geste
- Planification de l'intervention chirurgicale (stéréotaxie)
- Actuellement, on utilise des instruments de 8 mm de diamètre. L'articulation [Snake](#) est en cours de développement pour plus de fluidité et de souplesse sur la partie distale des instruments.
- Le bloc opératoire du futur : à Sunnyvale, en Californie, les bras du robot descendent du plafond de la salle d'opération, ce qui laissera plus de place à l'équipe dans la salle.
- Développement de la télé chirurgie robotique satellitaire : un bloc opératoire dédié à la chirurgie robotique va être installé sur le porte-avions Charles-de-Gaulle, tandis que la «console - maître» se trouvera vraisemblablement à l'Institut Mutualiste Montsouris (Paris 14^{ème}), où une plateforme multidisciplinaire est en cours d'expérimentation. Les yeux et mains du chirurgien expert pourront ainsi être télé déportés sur le Charles-de-Gaulle.

Les limites :

- La transmission des signaux et la formation :
160 millisecondes de délai de transmission au cours de l'opération Lindbergh.
Au cours d'essais actuellement réalisés avec France Télécom, entre 100 et 200 millisecondes de délai à la télétransmission sont visées. Cinq patients ont été opérés dans ce contexte d'expérimentation, avec 100% de succès.
- Les opérations à cœur battant :
Il est difficile de créer une image statique sur cœur battant. En compensation, le stabilisateur, qui est utilisé dans les opérations à cœur battant, fonctionne de manière optimale.