

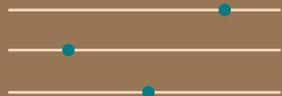
Progrès  
& dispositifs  
médicaux

JANVIER 2024

# INNOVATION EN ROBOTIQUE



LE DISPOSITIF MÉDICAL  
**snitem**  
Pour faire avancer la santé



# SOMMAIRE

LE DISPOSITIF MÉDICAL

# snitem

Pour faire avancer la santé

Maison de la Mécanique  
39, rue Louis Blanc  
CS 30080  
92038 La Défense Cedex

Directeur de la publication : Éric Le Roy  
Responsable d'édition : Natalie Allard  
Rédactrice : Camille Grelle  
Édition déléguée : Presse Infos Plus  
([www.presse-infosplus.fr](http://www.presse-infosplus.fr))  
SR et édition : Studio Hartpon  
Création graphique : ArtFeelsGood  
Maquette : Marjorie Gosset  
Crédits photos, tous droits réservés : Collin - Bagneux,  
Corin Group, Intuitive Surgical, Johnson & Johnson  
Medical SAS - DePuy Synthes, Medtronic France SAS,  
Smith & Nephew SAS, Stryker France, Zimmer Biomet,  
Adobe Stock.  
Nouvelle édition - janvier 2024

Les mots techniques ou scientifiques expliqués  
en fin de livret dans la partie glossaire sont signalés  
dans le texte par le symbole **G**

1	<b>PRÉFACE</b>	
2	<b>INFOGRAPHIE</b>	
4	<b>INTRODUCTION</b>	
8	<b>ENJEUX</b> Quels enjeux pour la chirurgie robot-assistée ?	
13	<b>ROBOTIQUE CHIRURGICALE GÉNÉRALE - INTRODUCTION</b> Pourquoi une robotisation de la chirurgie ?	
15	<b>CHIRURGIE ROBOTIQUE UROLOGIQUE</b> L'urologie, pionnière parmi les pionniers	
18	<b>CHIRURGIE ROBOTIQUE DIGESTIVE</b> La quête d'un robot adapté et adopté	
20	<b>CHIRURGIE ROBOTIQUE THORACIQUE</b> Le robot, un allié contre le cancer du poumon	
23	<b>CHIRURGIE ROBOTIQUE GYNÉCOLOGIQUE ONCOLOGIQUE</b> Vers des applications toujours plus vastes ?	
27	<b>CHIRURGIE ROBOTIQUE GYNÉCOLOGIQUE NON ONCOLOGIQUE</b> Un mot d'ordre : préserver toujours plus	
29	<b>CHIRURGIE ROBOTIQUE PÉDIATRIQUE</b> Un robot pour de multiples indications	
33	<b>CHIRURGIE ROBOTIQUE EN ORL</b> La précision et la miniaturisation, armes essentielles de l'ORL	
37	<b>CHIRURGIE ROBOTIQUE EN ORTHOPÉDIE - INTRODUCTION</b> La robotique chirurgicale ouvre un vaste champ des possibles en orthopédie	
39	<b>CHIRURGIE ROBOTIQUE EN ORTHOPÉDIE SANS IMAGERIE</b> En quête de l'articulation originelle	
43	<b>CHIRURGIE ROBOTIQUE EN ORTHOPÉDIE AVEC IMAGERIE</b> Vers une chirurgie toujours plus personnalisée	
45	<b>NEUROCHIRURGIE ROBOTIQUE - INTRODUCTION</b> Repousser les limites chirurgicales	
46	<b>NEUROCHIRURGIE RACHIDIENNE</b> Des progrès réels mais des bénéfices à étayer	
50	<b>NEUROCHIRURGIE CÉRÉBRALE</b> Au service de l'organe le plus complexe du corps humain	
52	<b>PERSPECTIVES IA, data et numérique : un enjeu crucial du secteur</b>	
54	<b>LE REGARD DU PATIENT</b>	
56	<b>GLOSSAIRE</b>	
58	<b>SOURCES</b>	
59	<b>REMERCIEMENTS</b>	

# La robotique participe à faire de la chirurgie un traitement personnalisé

## PRÉFACE



### **Pr Patrick Pessaux,**

*Chef du service Chirurgie viscérale et digestive du CHU de Strasbourg, Président de l'Association Française de Chirurgie (AFC), Président du Collectif d'écoresponsabilité en santé (Ceres), Président du comité de transition écologique en santé de la FHF.*

La technologie robotique doit être au service du chirurgien et du patient. C'est d'ailleurs ainsi que toute innovation doit être pensée : partir de l'usage et du besoin et leur apporter une réponse. Malheureusement, il est encore fréquent

d'emprunter le chemin inverse et de voir émerger des inventions puis de se demander si elles peuvent être utiles en clinique. Et s'il faut reconnaître que les chirurgiens sont aujourd'hui sollicités plus en amont du processus d'innovation qu'auparavant par les entreprises du dispositif médical, la co-construction doit être encore renforcée.

Comme l'ensemble du système de santé, l'innovation chirurgicale doit par ailleurs s'intégrer dans une dimension environnementale. On ne peut plus se limiter au seul service médical rendu, si important soit-il. Il faut désormais s'interroger sur l'impact environnemental d'une innovation et il y a un véritable challenge industriel à relever si l'on veut que cela soit pérenne et durable. Et il nous faut des indicateurs environnementaux, y compris en chirurgie.

Le chirurgien d'aujourd'hui n'est plus le barbier du Moyen Âge : il n'est pas un simple technicien, si spécialisé soit-il. C'est un médecin qui opère mais surtout qui s'intègre dans le parcours de soins global et dans lequel il joue un rôle de coordinateur. Et pour cela, il a besoin d'outils

modernes sur lesquels s'appuyer pour améliorer la fluidité des parcours : santé numérique, innovation organisationnelle... L'innovation technologique en robotique chirurgicale entre complètement dans cette démarche.

Aujourd'hui, en effet, la chirurgie devient un traitement personnalisé et la robotique y participe pleinement en mettant la puissance d'un ordinateur entre le chirurgien et le patient. En utilisant la puissance des algorithmes de calcul, l'analyse des données, l'intégration d'images, elle permet de visualiser ce que l'œil ne peut pas voir, offrant une chirurgie plus précise mais surtout personnalisée. En cela, c'est une véritable (r)évolution.

Grâce aux outils de réalité virtuelle et à la simulation avec l'intégration de clones numériques du patient, la robotique chirurgicale métamorphose également la préparation des interventions qui permet au chirurgien d'être véritablement en immersion. Le tout au bénéfice du patient pour qui les interventions sont moins traumatiques et la récupération facilitée. C'est aussi cette nouvelle approche que permet l'innovation.

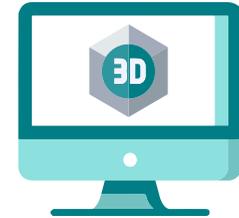
# LES DIFFÉRENTS TYPES DE ROBOTS CHIRURGICAUX

Un robot chirurgical est «une machine physique connectée à un ordinateur, opérant sur un patient au moyen de différents outils en coopération avec un utilisateur humain». Il s'agit d'un professionnel de santé expérimenté ayant suivi une formation spécifique. On distingue trois principaux types de robots, en fonction de la répartition de la prise de décision entre l'utilisateur et la machine pour exécuter une tâche.

*\*Définition de l'Académie nationale de Chirurgie*

## LES ROBOTS CHIRURGICAUX CO-MANIPULÉS

1

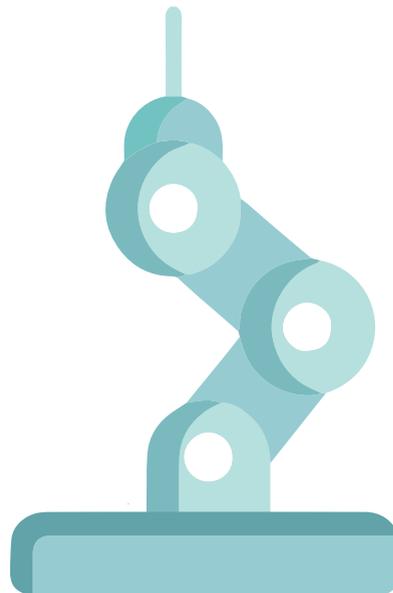
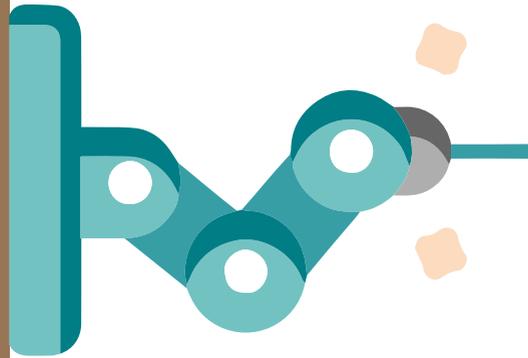


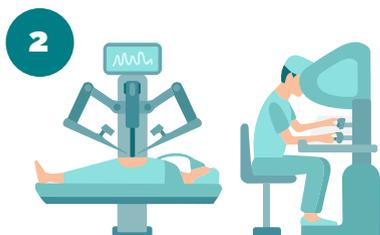
### LE FONCTIONNEMENT

Aussi appelés robots semi-autonomes, ils sont dotés d'instruments que le chirurgien contrôle en les visualisant en 3D à travers les structures anatomiques. Le robot déplace un guide-outil vers une position planifiée. Une fois atteinte, le chirurgien introduit l'outil par le guide pour réaliser la trajectoire planifiée.

#### Exemples d'application :

- Neurochirurgie stéréotaxique
- Chirurgie orthopédique du genou
- Visée pédiculaire





## LE FONCTIONNEMENT

Ils disposent d'un guidage manuel et sont télécommandés par le chirurgien via une console. Ils reproduisent le geste du chirurgien avec une éventuelle fonction de transfert.

### Exemples d'application :

- Gestes interventionnels endovasculaires
- Chirurgie ORL
- Chirurgie endoluminale
- Chirurgie endorectale
- Chirurgie mini-invasive : générale, urologie, gynécologie, thoracique, colorectale...

## LES ROBOTS CHIRURGICAUX AUTONOMES



## LE FONCTIONNEMENT

Aussi appelés robots indépendants, ils fonctionnent avec un guidage automatique sous contrôle d'informations venant d'un capteur de force et sous la supervision du chirurgien. Ils sont utilisés pour des tâches planifiées et non réalisables selon un autre mode d'interaction.

### Exemple d'application :

- Préparation de la cavité fémorale des prothèses de hanche

## LES ROBOTS CHIRURGICAUX TÉLÉMANIPULÉS

## UN ROBOT, UN CHIRURGIEN, UNE ÉQUIPE



### MAÎTRISE

Quelle que soit la technologie utilisée, le chirurgien garde 100% de la maîtrise de l'opération : le robot ne remplace pas le chirurgien, il est sous sa responsabilité.



### ÉQUIPE

La chirurgie robot-assistée demande l'implication de toute l'équipe du bloc autour du dispositif robotique : chirurgien, aide, infirmier.e, anesthésiste, technicien.ne, formateur.trice...



### FORMATION

C'est pourquoi la formation de tous est primordiale et continue.

Sources : Observatoire régional de la chirurgie ambulatoire, Académie nationale de chirurgie

## INTRODUCTION

# PROLONGER LES MAINS DU CHIRURGIEN

Le robot chirurgical n'a pas vocation à remplacer le chirurgien: il s'agit d'un outil d'assistance robotisée. Le robot permet de faire des interventions complexes, précises et délicates en préservant l'ergonomie du chirurgien.



### DE LA THÉORIE...

L'heure des fantasmes n'est plus depuis longtemps: non, le robot chirurgical n'a pas vocation à opérer seul, ni à prendre le pouvoir dans le bloc opératoire. Au contraire, lorsqu'on évoque la chirurgie robot-assistée, la machine est l'extension des yeux et des mains du chirurgien, seul maître à bord. La robotique chirurgicale générale relève d'une logique de maître à esclave dans laquelle le chirurgien télémanipule un robot qui va permettre de magnifier les gestes chirurgicaux au bénéfice des

patients. En effet, le robot chirurgical, d'une grande précision et d'une grande finesse, peut accéder à des zones anatomiques d'abord difficile à la main de l'homme. De surcroît, il gomme les effets de la fatigue sur la main humaine, permettant de réaliser certains gestes avec une précision accrue. L'objectif? Comme toujours dans l'innovation en santé, accroître le service médical rendu. Les robots chirurgicaux entraînent souvent moins de complications majeures. L'intervention étant moins invasive et moins traumatisante, les douleurs post-opératoires et la durée d'hospitalisation en sont

réduites avec un retour à l'activité plus rapide pour le patient. En un mot, l'équipement robotique conjugue les bénéfices de la chirurgie ouverte à ceux de la coelioscopie en termes de miniaturisation, améliorés par des technologies de pointe.

## À LA PRATIQUE

Indépendamment de la spécialité, le robot chirurgical repose sur le principe de la télémanipulation et fait appel aux techniques de la coelioscopie. Le dispositif consiste en une plateforme chirurgicale robotique constituée d'une console avec manette(s) et pédales et d'un système de visualisation. Le chirurgien place sa tête dans la console où il bénéficie d'une vision 3D de l'anatomie du patient grâce à une caméra. D'autres dispositifs reposent sur un écran 3D dans lequel le chirurgien regarde avec des lunettes adaptées. La très haute définition de cette dernière confère des capacités techniques impossibles pour l'œil nu. S'y ajoute une colonne informatique, le « cerveau » du robot, et un écran qui permet à l'ensemble de l'équipe du bloc de suivre les gestes du chirurgien.

Le robot lui-même, placé à côté du patient, est doté de bras articulés (l'un portant la caméra, les autres les outils nécessaires à la procédure) que le chirurgien contrôle à distance. Selon les spécialités et les constructeurs, l'architecture du robot peut différer: il peut être constitué d'un pied avec quatre bras ou de quatre bras indépendants. Mais quel que soit le modèle robotique, le praticien gagne en confort et en ergonomie. Grâce à la vision 3D HD



offerte par le dispositif, le chirurgien bénéficie d'une visualisation claire de la zone à opérer et d'une extrême précision. Les bras se pliant et pivotant avec plus d'aisance que la main humaine, le chirurgien peut d'autant plus effectuer des gestes chirurgicaux complexes.

## UNE HISTOIRE D'INNOVATION

### De l'armée...

L'origine du robot spécialisé en chirurgie générale est militaire. Dans les années 1980, au moment même où l'arrivée de la coelioscopie bouleversa la manière d'opérer, la Darpa – l'agence de recherche du Pentagone – demanda à différentes institutions comme le MIT et la Nasa de rechercher de nouvelles solutions chirurgicales afin de pouvoir soigner à distance les blessés sur les champs de

bataille. Des avancées significatives furent alors faites pour voir un homme et manipuler des instruments tout en restant éloigné de lui.

### ... à la vie civile

Entre le milieu des années 1980 et la fin de cette décennie, les publications scientifiques relatant des interventions robot-assistées se multiplièrent, principalement en neurochirurgie et en radiologie interventionnelle. C'est la naissance du geste médico-chirurgical assisté par ordinateur qui combine ordinateur, bistouri, image et robot: le fruit « *des évolutions propres à de nombreuses disciplines, dont la médecine et la chirurgie, et des grandes découvertes et révolutions technologiques des 20<sup>e</sup> et 21<sup>e</sup> siècles, puis de leur convergence* », ainsi que le souligne l'Académie nationale de chirurgie dans son rapport sur « *La robotisation en chirurgie* » (2020).

## L'urologie et la gynécologie ouvrent la voie...

En 1999, le Dr Jochen Binder réalisa la première prostatectomie robot-assistée en Allemagne, bientôt suivi du Pr Abbou au CHU Henri Mondor de Créteil. C'est en effet en urologie que la chirurgie robotique télémanipulée prit son essor, comme l'explique le Pr Morgan Roupret, chirurgien urologue à l'hôpital de la Pitié Salpêtrière (AP-HP): « *La chirurgie urologique est une chirurgie du petit bassin, une zone difficile d'accès, confinée et volontiers* » >>>

Début des années

1990

Début de la robotique en urologie

1999

Premier marquage CE d'un système robotique

Début des années

2000

Début de la robotique en chirurgie gynécologique  
Début de la robotique en chirurgie digestive  
Développement de la robotique en chirurgie orthopédique

## Une précision sémantique

Si le terme de « robots » est fréquemment utilisé par souci de simplification, les dispositifs robotiques utilisés en chirurgie n'en sont pas à proprement parler, ainsi que le souligne le D<sup>r</sup> Marion Durand, chirurgienne thoracique du Groupe Hospitalier Privé Ambroise Paré Hartmann à Neuilly sur Seine et responsable de la task-force robotique de la société européenne de chirurgie cardio-thoracique (EACTS): « Il existe un abus de langage dans la terminologie, ces systèmes ne sont pas des 'robots' mais des 'télémanipulateurs'. La révolution technologique qu'ils portent nous permet de pratiquer une chirurgie en immersion, d'être un chirurgien augmenté en capacités visuelles et manuelles. »

»» statique. Les urologues ont tout de suite vu l'intérêt offert par la chirurgie robotique en termes de vision et de précision, notamment pour la prostatectomie.

Très rapidement, « sa spécialité voisine qu'est la gynécologie lui emboîta le pas, un logique transfert de compétences puisque la région anatomique est la même », complète le D<sup>r</sup> Jean-Philippe Estrade, gynécologue-obstétricien et président de la Société de chirurgie gynécologique et pelvienne (SCGP). Les autres spécialités chirurgicales générales (digestive, thoracique, vasculaire, pédiatrique, ORL...) et la chirurgie orthopédique suivirent le même mouvement dans la seconde moitié des années 2000, puis au cours des années 2010 (voir les chapitres dédiés à chacune de ces spécialités au sein de ce livret).

## ... et les robots s'adaptent et se diversifient

Durant ces mêmes années, des améliorations successives furent apportées aux dispositifs,

parmi lesquelles la vision 3D HD, participant à leur diffusion dans toutes les spécialités puisque répondant de mieux en mieux à leurs besoins.

En chirurgie digestive, par exemple, il faut pouvoir intervenir en haut et en bas de l'abdomen, un besoin auquel les premiers robots ne permettaient pas de répondre initialement. C'est finalement en 2015 qu'un système a été créé pour y remédier. Au fil des années, les dispositifs sont devenus toujours plus précis, autorisant des interventions d'une grande délicatesse telle que la chirurgie du rectum. La précision et la technicité de ces dispositifs réduisent considérablement le caractère invasif de certains actes tout en permettant d'intervenir dans des zones du corps humain difficiles d'accès et de mener des interventions complexes.

Aujourd'hui, soit vingt-cinq ans après l'apparition de la première génération de robots chirurgicaux, ceux-ci sont présents dans la quasi-totalité des spécialités et les constructeurs n'ont de cesse de les améliorer pour répondre aux besoins des praticiens et à la réalité de la médecine d'aujourd'hui et à celle de demain.

Fin des années  
2000

Début de la robotique en chirurgie thoracique  
Début de la robotique en chirurgie pédiatrique  
Début de la robotique en chirurgie ORL

Fin des années Début des années  
2000-2010

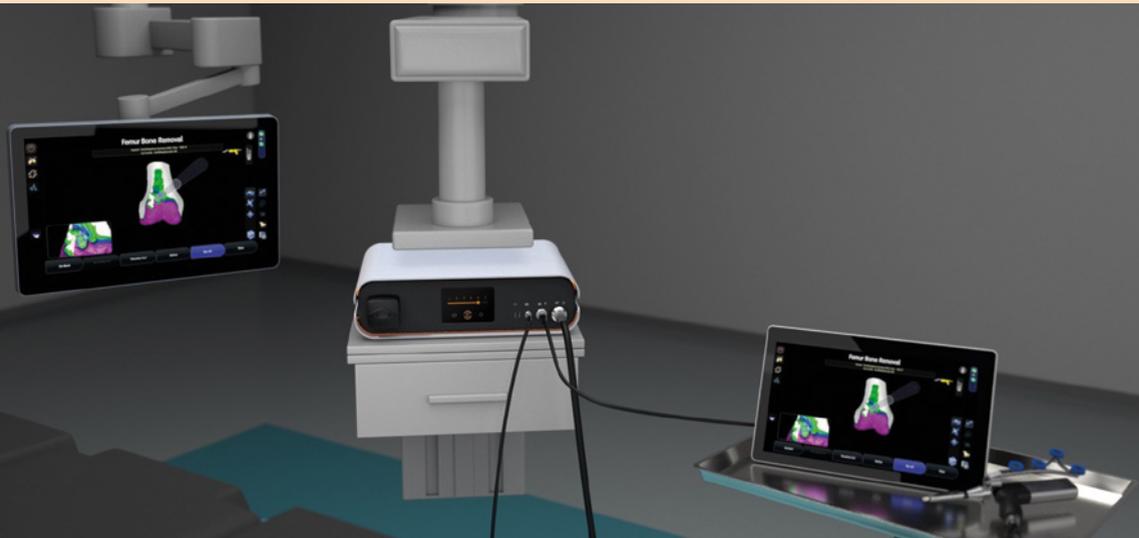
Début de la chirurgie robotique  
orthopédique avec imagerie

## Défis et perspectives

Parmi ces améliorations en cours ou attendues très prochainement figure l'intégration de l'imagerie (scanner, IRM) offrant une véritable cartographie du patient en temps réel: « *L'objectif est que le robot puisse, via l'analyse de l'imagerie réalisée, nous guider davantage dans nos gestes pour être encore plus précis et respectueux des structures nobles* », explique le Dr Enrica Bentivegna, chirurgienne cancérologue en gynécologie à l'Hôpital européen Georges Pompidou (AP-HP), à Paris.

La question du coût des robots chirurgicaux reste prégnante pour leur très large diffusion, comme le souligne également le Dr Bentivegna: « *Même si, ces dernières années, des machines moins onéreuses ont été développées, donnant une véritable impulsion à la chirurgie robotique, cela reste un important investissement qui peut être un obstacle pour un établissement.* » Si bien que, pour l'instant, il est encore courant que plusieurs services se partagent un même dispositif.

Enfin, la collecte des données concentre également l'attention avec la possibilité d'enregistrer « *les gestes qui ont été effectués, les réussites, les complications... et de pouvoir croiser ces métriques avec les données de suivi des patients; cela permettra de standardiser les meilleures procédures et, ainsi, de diffuser les bonnes pratiques, notamment auprès des jeunes chirurgiens afin qu'ils aient une courbe d'apprentissage plus rapide* », détaille le Dr Estrade (voir à ce sujet les paragraphes consacrés à la formation dans le chapitre « Enjeux »).



### Chiffre clé

C'est la durée de l'opération dite « Lindbergh », réalisée en 2001. Celle-ci consista en une ablation de la vésicule biliaire par le Pr Marescaux, située à New-York, sur une patiente hospitalisée au CHU de Strasbourg! C'est la première intervention chirurgicale à distance (6000 km). Aujourd'hui, la chirurgie à distance reste peu répandue.

Source : Encyclopédie Universalis

45  
minutes

## ENJEUX

# QUELS ENJEUX POUR LA CHIRURGIE ROBOT- ASSISTÉE ?

Comme toute innovation, le développement de la chirurgie robot-assistée entraîne avec lui un certain nombre d'évolutions. Harmonisation des pratiques, formation et compagnonnage, partage d'expériences, évolution des organisations humaines, attractivité d'un établissement : les enjeux sont grands.



### UN OUTIL D'HARMONISATION DES PRATIQUES

Dans toutes les spécialités, le robot, parce qu'il ne tremble pas, permet de lisser la gestuelle chirurgicale. Conséquence : une qualité de soins optimale pour les patients et une diffusion élargie des bonnes pratiques. Petit à petit, tout chirurgien qui utilise le robot fait un geste quasi parfait. En effet, le robot n'est jamais fatigué même après de nombreuses

chirurgies successives et il n'y a pas d'aléa humain, comme le souligne le Pr Morgan Roupert, chirurgien urologue à la Pitié-Salpêtrière (AP-HP) : « *Le robot permet une amplification de la technique chirurgicale et donne un degré de liberté supérieur à la main humaine. Il offre une grande ergonomie, gomme les tremblements humains et permet de pérenniser le geste chirurgical tout au long de la journée.* »

Cela libère le chirurgien intellectuellement sur la réalisation du geste (moins de stress et de fatigue,

possibilité de faire des pauses, de réfléchir, etc.) et tous les patients bénéficient de la même qualité et de la même expertise chirurgicales. « *Le robot permet la standardisation et donc l'amélioration des protocoles opératoires, corrobore le Dr Jean-Philippe Estrade, gynécologue-obstétricien et président de la Société de chirurgie gynécologique et pelvienne (SCGP). Nous n'y sommes pas mais on pourrait presque rêver, à terme, d'automatisation de certains gestes.* »



## Harmoniser ne signifie pas révolutionner

Pas question, cependant, d'imaginer que la robotisation viserait à bouleverser totalement les pratiques chirurgicales! Le robot n'induit en aucun cas de réapprendre la chirurgie mais de changer la façon de procéder dans un environnement rendu différent par la console et la vision 3D. Les industriels du secteur sont pleinement conscients que, pour qu'il y ait une parfaite acceptation de l'utilisation des dispositifs robotiques, il ne faut changer ni les instruments ni la méthode du chirurgien mais s'adapter aux besoins et habitudes de ces derniers. Le robot doit donc être facile à prendre en main pour permettre aux chirurgiens de continuer à réaliser les mêmes gestes qu'auparavant... mais avec plus de précision!

## FORMER ET SE FORMER EN CHIRURGIE ROBOTIQUE

En robotique chirurgicale, la formation est également un enjeu crucial à plusieurs titres. En effet, les utilisateurs du dispositif doivent être correctement formés à son utilisation. En outre, les plateformes robotiques offrent une belle opportunité pour favoriser le compagnonnage et le partage d'expériences.

L'ensemble des fabricants de robots accompagne les chirurgiens à l'usage de leur dispositif, comme l'explique le Dr Marion Durand, chirurgienne thoracique et cardiovasculaire au Groupe Hospitalier Privé Ambroise Paré - Hartmann (Neuilly-sur-Seine): « *Il y a une participation très importante des industriels*

## La chirurgie robotique dans les universités

Depuis quelques années, la formation en chirurgie robotique se formalise et entre dans les universités: des diplômes inter-universitaires (DIU) fleurissent, certains en chirurgie robotique générale, d'autres spécialisés (en chirurgie robotique digestive, par exemple). À noter cependant que toutes les spécialités médicales ne disposent pas encore de leur propre DIU.

*dans l'accompagnement des chirurgiens et dans l'organisation des formations.* »

Cette formation se déroule en plusieurs étapes: e-learning, simulateur, entraînement à la micro-chirurgie sur modèles artificiels, entraînement complémentaire propre à chaque spécialité et à ses spécificités, assistance à des chirurgies robotiques en bloc opératoire... L'objectif de ces formations est de prendre l'outil en main afin que son utilisation devienne naturelle. La courbe d'apprentissage en robotique chirurgicale est beaucoup plus rapide qu'en coelioscopie. Un ingénieur de l'entreprise peut également aider les chirurgiens au bloc opératoire à la prise en main du robot durant un certain nombre de chirurgies après l'installation du robot. >>>

» Mais les chirurgiens ne sont pas les seuls formés, précise le Pr Morgan Roupret, chirurgien urologue à la Pitié-Salpêtrière (AP-HP) : « Les industriels de la chirurgie robot-assistée forment la totalité de l'environnement qui inclut donc les infirmiers de bloc opératoire (Ibode) et les anesthésistes. » Ceux-ci sont formés aux gestes et procédures qui les concernent spécifiquement, les utilisateurs paramédicaux n'ayant pas besoin de certification contrairement aux médecins. Enfin, tous les usagers bénéficient d'une formation continue, notamment en cas de mises à jour et/ou d'évolution du système.

### Favoriser le compagnonnage, former les jeunes chirurgiens

Certains systèmes robotiques proposent par ailleurs une double console pour que les chirurgiens expérimentés accompagnent les chirurgiens en cours de formation. À la manière du moniteur d'auto-école ou du copilote en avion, le chirurgien expert peut prendre le contrôle du dispositif à tout moment en cas de mauvaise manipulation. « Cela permet de partager les mouvements, de travailler ensemble autour d'un patient et de prendre les commandes à tour de rôle, détaille le Dr Estrade. C'est particulièrement précieux pour certaines opérations longues ou pour certains gestes dans lesquels un chirurgien est meilleur par exemple. »

L'objectif ? Former les jeunes chirurgiens en toute sécurité aux différentes étapes d'une intervention et les autonomiser plus rapidement grâce à une courbe d'apprentissage réduite (mais n'en comptant

pas moins des centaines d'heures de pratique !). « La plupart des robots offre en effet la possibilité de prendre la commande physiquement en cas de besoin, développe le Pr Roupret. Mais certains, comme en urologie par exemple, sont désormais dotés d'un système d'accès et de prise de contrôle à distance qui permet, en cas de difficulté, du télémentoring de la part d'un chirurgien expert, même très éloigné géographiquement. »

### Améliorer le partage d'expériences et de bonnes pratiques

Enfin, cela favorise aussi le partage d'expériences, qui peut se faire dans une même discipline ou de manière transdisciplinaire et beaucoup moins cloisonnée. « Il y a d'ailleurs à ce sujet une véritable interconnexion européenne dans laquelle la France occupe une place prépondérante, poursuit le Dr Durand. Notre pays a en effet joué un rôle pionnier dans la pratique de la chirurgie robot-assistée et il est encore très présent dans la formation et l'accompagnement des jeunes chirurgiens européens, lesquels montrent une grande appétence pour cette ingénierie de pointe. »

Ce partage d'expériences et d'expertises entraîne ainsi une standardisation et une transmission des bons gestes, notamment via l'enregistrement de certaines interventions et leur diffusion auprès du plus grand nombre (facultés, congrès, webinaires, etc.) : « La chirurgie robotique ne s'apprend pas seul et la formation offre justement l'énorme bénéfice de



se confronter à des pairs plus expérimentés. C'est un véritable atout », conclut le Dr Enrica Bentivegna, chirurgienne oncologue en gynécologie à l'Hôpital européen Georges Pompidou (AP-HP).

### UN FACTEUR DE RÉORGANISATION ET D'ATTRACTIVITÉ

L'utilisation du robot au bloc opératoire entraîne nécessairement de repenser l'organisation humaine et du travail mais aussi les modalités de communication. Les relations et la communication entre les membres de l'équipe du bloc sont, de fait, différentes avec la présence du robot, comme l'explique le Pr Richard Assaker, neurochirurgien

au CHRU de Lille: «C'est une organisation d'équipe multimodale: chirurgien, Ibode, ingénieurs biomédicaux, manipulateurs de radiologie... C'est vraiment le travail d'une équipe institutionnelle.»

«La participation des uns et des autres au bloc est différente aujourd'hui, corrobore le Dr Durand. Dans le cas d'une thoracotomie , auparavant, seul le chirurgien voyait le champ opératoire. Avec la chirurgie robotique, la retransmission vidéo permet à tout le monde de partager la même vision. C'est beaucoup plus intéressant pour les équipes: les Ibode participent aux procédures et sont ainsi plus impliqués, ce qui les stimule et engage tous les intervenants.»

## Le bloc de chirurgie robotique: entre réorganisation et ouverture

Et si les principes de sécurité et de stérilisation demeurent inchangés, ce n'est pas le cas de l'organisation au sein des équipes qui doit, pour sa part, être entièrement revue autour de l'utilisation du robot. L'arrivée de ce dernier au bloc opératoire entraîne en effet de nombreux changements: emplacement du robot, modification de l'attribution des tâches, choix et stockage de l'instrumentation, modifications de l'équipement du bloc opératoire, liens avec le fabricant du robot, recrutement et formation des professionnels... Autant de points essentiels au bon fonctionnement du bloc de chirurgie robotique.



Par ailleurs, la connectique et le numérique permettent non seulement la collecte de données au bloc mais également leur partage. Ainsi, pour le Dr Durand, «la connexion entre les blocs de centres différents va permettre de transformer ces lieux traditionnellement secrets, ou du moins réservés à une poignée, en un univers un peu plus ouvert où l'on peut enregistrer et partager des données en temps réel. Nous sommes dans l'ère de la téléchirurgie, de la téléformation et du téléenseignement depuis le bloc opératoire.»

## Influencer et faire réfléchir

Enfin, cette ouverture du bloc couplée au mentoring qui caractérise la formation en chirurgie robotique (voir à ce sujet les paragraphes consacrés à la formation dans le chapitre «Enjeux») permet également un échange des bonnes pratiques en matière d'organisation du bloc et d'utilisation, y compris entre centres de pays différents. C'est ce que souligne le Pr Yann Nguyen, chirurgien ORL à la Pitié-Salpêtrière (AP-HP), qui a participé à la mise au >>>

»»» point du premier robot ORL (voir à ce sujet le chapitre « Robotique chirurgicale en ORL » p.33) et qui a été amené, à ce titre, à former à son usage dans de nombreux centres: « Alors que le robot avait été conçu selon nos besoins et nos habitudes, j'ai pu constater des manières de travailler très différentes d'un service à l'autre: avec ou sans instrumentiste, orientation de la table, dimension de la salle d'opération, techniques chirurgicales... Tout cela influe sur la manière de positionner et d'utiliser un robot! Même le pilotage du robot varie beaucoup suivant les usages: certains l'utilisent avec leur main dominante, d'autres sur l'autre main; dans certaines équipes, c'est le senior qui pilote, dans d'autres c'est l'assistant... En observant toutes ces différences, nous avons pu affiner – et simplifier – le contenu de nos formations. »

### Un facteur de stimulation et d'attractivité

De fait, aujourd'hui, nombreux sont les jeunes chirurgiens à vouloir être formés à cette chirurgie en immersion qu'est la chirurgie robotique. D'autant que, au sein d'une équipe ou d'une structure, un projet d'acquisition robotique représente un challenge très intéressant pour les équipes et motive le personnel à se former.

« C'est à la fois très intéressant sur le plan intellectuel et technologique et passionnant aussi bien pour le chirurgien que pour l'entièreté de l'équipe, souligne le D<sup>r</sup> Paolo Mangione, chirurgien du rachis à l'Hôpital Saint-Martin de Pessac. À ce propos, le personnel infirmier formé en robotique joue



notamment un rôle important pour la phase d'installation. Comme il y a un vrai travail d'équipe entre la chirurgie et la salle, les équipes sont motivées et valorisées. Et il y a une émulation pour les chirurgiens dont le métier évolue. » Pour ceux-ci, l'intérêt est grand puisque la chirurgie robotique permet de maintenir la dextérité et les capacités techniques nécessaires à la chirurgie ouverte en faisant aussi

bien voire mieux, tout en étant beaucoup moins invasive. Loin d'être un mode de pilotage automatique, la chirurgie robot-assistée laisse le chirurgien seul maître à bord.

## POURQUOI UNE ROBOTISATION DE LA CHIRURGIE ?

La robotisation des blocs chirurgicaux s'accélère, c'est un fait. Et si les progrès réalisés en matière de dispositifs médicaux sont indéniables et ne cessent de grandir, comprendre le contexte de cette robotisation pour en saisir les enjeux est indispensable.

De manière générale et quelle que soit la spécialité chirurgicale, l'assistance robotique offre une amélioration certaine du geste: «*En chirurgie robotique, tout est augmenté: vision, précision, absence de tremblements...*», explique le Dr Jean-Claude Couffinhal, chirurgien thoracique et vasculaire au Centre hospitalier Victor Dupouy d'Argenteuil et membre du Conseil d'administration de l'Académie nationale de chirurgie dont il est par ailleurs responsable de la robotique chirurgicale et de la formation. Cependant, «*ce n'était pas l'objectif de base de la robotique en chirurgie générale que d'améliorer le geste – lequel était déjà très maîtrisé – mais plutôt de faire au moins aussi bien qu'en coelioscopie mais de manière beaucoup plus simple*, tient-il à rappeler. *Et en cela, si la coelioscopie a été une véritable révolution pour la chirurgie et pour les patients, la robotique en a été une pour le chirurgien et son outil*».

### Gagner en pertinence des soins

Plus encore que l'amélioration du geste, «*le premier objectif de la robotisation de la chirurgie générale est un objectif de pertinence des soins*, poursuit l'expert. *Or, cette dernière repose aujourd'hui sur la chirurgie mini-invasive et donc, sur la fin de la chirurgie ouverte*.» L'une des portes de sortie réside dans la coelioscopie, dont la culture est d'ailleurs très ancrée en France: «*Et de fait,*

*la France fait en effet partie du peloton de tête en termes de pratiques mini-invasives dont la chirurgie coelioscopique*, relate le Dr Couffinhal. *Mais, en la matière, on a atteint une sorte de plafond de verre aujourd'hui (autour de 45 à 50% des chirurgies), avec une très faible évolution ces dernières années. La difficulté est qu'il n'y a pas eu de véritable politique de santé publique sur le tout mini-invasif, si bien que cet objectif de pertinence de soins en matière de robotique n'a pas été clairement identifié par les tutelles. C'est une grosse erreur car la robotisation offre en réalité un précieux gain financier.* » >>>

### Le saviez-vous ?

La France est l'un des berceaux de la chirurgie mini-invasive robot-assistée: les premières interventions avec cette technologie ont été réalisées par le Pr Carpentier dès 1998 à l'Hôpital Broussais, à Paris. Aujourd'hui, la France est l'un des pays européens les plus avancés dans ce domaine.

# ROBOTIQUE CHIRURGICALE GÉNÉRALE - INTRODUCTION

»» Conséquence: là où certains pays comme le Danemark par exemple ont fait le choix du tout robotique, le taux de chirurgie ouverte reste élevé en France et le problème pas assez identifié. «*Or, la suppression de la chirurgie ouverte chaque fois que cela est possible et pour toutes les indications reste vraiment le premier niveau d'une robotisation chirurgicale réussie*», souligne encore le D<sup>r</sup> Couffinhal.

## Harmoniser les pratiques

Le deuxième objectif de la chirurgie robot-assistée est un objectif de santé publique via une harmonisation des pratiques et la capacité de faire de l'enseignement et de la formation sur des simulateurs procéduraux.

Plus encore, «*la robotique chirurgicale va permettre de procéder facilement à des certifications et des re-certifications, ce qui est totalement inédit*», souligne le D<sup>r</sup> Couffinhal. *C'est la première fois qu'un outil pourra servir à évaluer les pratiques chirurgicales et les compétences. Jusqu'à présent, on déclenchait des évaluations ou des enquêtes uniquement lorsque l'on constatait des indicateurs de mortalité élevés dans un service par exemple. Cette possibilité d'évaluer est donc un énorme bouleversement qui va dans le bon sens pour améliorer les pratiques*».

## La robotique, « premier fournisseur » de données au bloc

Le troisième niveau, «*qui devient un objectif impératif*», porte sur la collecte de données de santé. «*Sur ce plan, cela s'est vraiment accéléré ces dernières années et le robot est en train de devenir une des plateformes digitales essentielles des pratiques chirurgicales*», explique l'académicien. Une compétence d'autant plus fondamentale à l'heure de l'entrée dans la médecine personnalisée et

de précision qui repose entièrement sur les données: «*Les plateformes robotiques et leur écosystème sont l'outil central non seulement pour la collecte des données mais également pour la planification et certaines prises de décision.*»

## Au service d'une automatisation

Enfin, la robotique peut avoir un objectif d'accompagnement à la chirurgie: le chirurgien peut programmer son intervention, à l'instar du pilote avec son plan de vol, et installer sur le robot des alertes contextuelles, permettant d'identifier des paramètres qui doivent susciter la vigilance du chirurgien: «*C'est d'ailleurs le cas en orthopédie, en chirurgie rachidienne, dans laquelle le chirurgien a un plan de coupes suivant lequel l'outil s'arrêtera exactement quand et où il a été programmé pour le faire*», illustre le D<sup>r</sup> Couffinhal (voir à ce propos le chapitre Chirurgie robotique en orthopédie p.37). Enfin, la robotisation laisse également imaginer une automatisation de certains gestes planifiables, comme des sutures par exemple. Mais, comme toujours en robotique chirurgicale, sous la responsabilité du chirurgien et seulement pour certains gestes ancillaires de la pratique chirurgicale.

## L'UROLOGIE, PIONNIÈRE PARMI LES PIONNIERS

Discipline pionnière du développement de la robotique chirurgicale, l'urologie recourt à cette technique pour des indications aujourd'hui élargies. Adoptée par de plus en plus d'urologues, elle offre d'importants bénéfices pour les patients.



### DE LA THÉORIE...

En urologie, le robot chirurgical est principalement utilisé dans la chirurgie des cancers de l'appareil urogénital (prostate, rein, vessie, vésicule séminale, testicule). Dans une moindre mesure, il peut également intervenir pour le traitement de certaines pathologies (incontinence urinaire, neuro-urologie...) et les transplantations rénales.

### À LA PRATIQUE

Comme dans la plupart des spécialités médicales, en chirurgie urologique, le robot est muni de bras articulés, eux-mêmes dotés d'instruments chirurgicaux et d'une caméra. Il est contrôlé par le chirurgien depuis une console. Grâce à sa caméra, ce dernier bénéficie d'une vision en 3D et HD. « Cela permet une amplification de la technique chirurgicale

et donne un degré de liberté supérieur à la main humaine, complète le Pr Morgan Roupret, chirurgien urologue à l'hôpital de la Pitié-Salpêtrière (AP-HP). *Le robot a une ergonomie qui simplifie les sutures, gomme les tremblements humains et offre un véritable confort pour celui qui opère. Il permet en outre de pérenniser le geste tout au long de la journée, si bien que tous les patients bénéficient de la même qualité chirurgicale.* »

### UNE HISTOIRE D'INNOVATION

L'urologie a joué un rôle pionnier dans le développement de la chirurgie robot-assistée et a participé à sa diffusion à grande échelle. Si les premières expérimentations furent menées à la fin des années 1980 en s'inspirant de robots industriels, c'est réellement au cours des années 1990 que la chirurgie robotique y prit son essor avec des premières >>>

»»» néphrectomie et prostatectomie radicalisée en 1991. Cependant, les dispositifs, reposant sur le principe de la relation du maître à l'esclave étaient peu pratiques et furent abandonnés au profit d'un nouveau modèle de robot plus adapté à la chirurgie et plus performant, notamment en raison des progrès réalisés en matière informatique, de capteurs électroniques et de miniaturisation. Et très vite, les urologues comprirent l'avantage que pouvait représenter le recours au robot pour la délicate chirurgie du bassin.

### Des applications toujours plus diversifiées

Ainsi, en 1999, le Dr Jochen Binder réalisa en Allemagne la première prostatectomie robot-assistée avec un dispositif de télémanipulation, bientôt suivi du Pr Abbou au CHU Henri Mondor à Créteil. Après ces précurseurs, la chirurgie robotique se répandit dans la spécialité, particulièrement pour le cancer de la prostate, « parce que c'est le plus fréquent mais aussi parce que la prostatectomie a été la première intervention identifiée comme présentant une amélioration majeure par la voie d'abord robotique », analyse le Pr Roupret.

Les améliorations apportées aux robots au cours des décennies 2000 et 2010 permirent ensuite de diversifier les applications de la chirurgie robot-assistée, comme le rappelle l'expert : « On a peu à peu élargi le spectre aux chirurgies totale et partielle du rein. Puis toutes les interventions de chirurgies ouvertes ont connu un transfert vers la robotique :

*calcul, prolapsus, etc. C'est aujourd'hui beaucoup plus éclectique et davantage d'indications chirurgicales rentrent sous l'ombrelle de la chirurgie robotique.* »

### Toujours plus d'adeptes

Si l'usage de la robotique chirurgicale en urologie reste moins répandu en France par rapport aux États-Unis (elle représente entre 50 et 60 % des prostatectomies en France contre 80 à 85 % aux États-Unis), un nombre de plus en plus important de chirurgiens urologues y sont cependant formés : « Depuis vingt ans que l'on recourt à la chirurgie robot-assistée, ce n'est désormais plus l'apanage de quelques experts, constate le Pr Roupret. Une véritable communauté s'est constituée et les chirurgiens sont de plus en plus demandeurs de délivrer ces soins-là. »

Cette diffusion est par ailleurs facilitée par la multiplication des modèles produits, dans la mesure où de nombreux industriels ont en effet développé leur robot, doté de ses propres spécificités : « Il y a eu une situation monopolistique de quelques industriels durant les débuts de la chirurgie robotique, souligne à ce titre le Pr Roupret. Ce n'est plus le cas depuis quelques années si bien que l'offre se diversifie, ce qui participe à rendre le recours au robot chirurgical plus accessible. Et comme les indications chirurgicales sont de plus en plus larges, l'équation va, a priori, vers une augmentation exponentielle du marché des robots et du nombre d'utilisateurs. »

### La chirurgie robot-assistée au service des patients

Côté patient, la chirurgie robotique offre tous les bénéfices de la chirurgie mini-invasive notamment une diminution des pertes sanguines, des complications et des douleurs postopératoires, et une réduction du temps d'hospitalisation. Conséquence : non seulement la morbidité est réduite, mais « il y a un retour à l'activité et aux occupations quotidiennes plus précoce, pointe le Pr Roupret. Et si le robot ne permet pas un 'hôpital sans lit' – et ce n'est d'ailleurs pas l'objectif ! – il est également bénéfique pour le système de santé en contribuant à diminuer la durée des séjours... sous réserve que son coût d'acquisition soit bien entendu compensé par cette baisse. »

### L'accès au dispositif

La hausse du nombre d'utilisateurs pose la question de l'accès à la technologie, celle-ci restant un investissement. « Aujourd'hui, toutes les spécialités ou presque peuvent recourir au robot pour certaines de leurs chirurgies », relate le Pr Roupret. Dans la plupart des établissements, plusieurs services doivent se partager le ou les mêmes robots généralistes, ce qui pose parfois des questions de disponibilité. Une problématique à nuancer, relativise le Pr Roupret : « Le robot chirurgical doit être utilisé à bon escient et on n'opère pas tous les patients ainsi car tous ne relèvent pas d'une chirurgie robotique. Dans mon service, à titre d'exemple, nous n'opérons avec cette technologie que 200 patients sur 3000 environ. »

Années  
1980

Premières expérimentations  
en chirurgie robotique  
urologique

1999

Premières prostatectomie  
robot-assistée

Années  
2000-2010

Diversification des applications  
de la chirurgie robot-assistée



2 000  
patients

### Chiffre clé

C'est le nombre de patients inclus dans la première étude prospective multicentrique lancée en 2022 et pour cinq ans, afin de comparer la technique de prostatectomie radicale pour le traitement du cancer de la prostate réalisée par coelioscopie robot-assistée, de manière conventionnelle ou par laparotomie chirurgicale.

Source : Elsan, 2022

### Des freins en passe d'être levés grâce à l'innovation

Par ailleurs, l'arrivée de robots de plus en plus spécialisés devrait participer à lever le frein de l'accès à la technologie robotique. « C'est d'ailleurs déjà le cas dans certaines spécialités comme l'orthopédie ou l'ORL (voir à ce sujet les chapitres Chirurgie robotique en orthopédie p.37 et Chirurgie robotique en ORL p.33), observe le Pr Morgan Roupret. Les robots généralistes vont être de plus en plus challengés par des robots conçus pour telle ou telle spécialité. »

Une autre perspective d'innovation est l'intégration du robot dans un plateau multimodal permettant la combinaison de traitements dans la prise en charge des cancers (chimiothérapie, radiothérapie et chirurgie). « Les robots vont venir nous aider pour les traitements combinés, prévoit l'urologue. Ils pourront être un outil pour une plateforme offrant différentes modalités de traitement comme l'embolisation, les traceurs radioactifs, les ultrasons focalisés, etc., s'additionnant à la chirurgie en peropératoire. »

Enfin, comme dans toutes les spécialités (voir à ce titre le chapitre Perspectives p.52), l'utilisation de l'intelligence artificielle et des données représente un véritable enjeu en urologie: pour le Pr Roupret, « l'IA offre notamment des perspectives intéressantes en matière d'aide à la décision et de reconstruction 3D pour mieux planifier, simuler et aider le praticien à amplifier son geste et sa vision. Mais elle ne remplacera jamais la réflexion et la responsabilité du chirurgien, qui resteront toujours centrales. »

## LA QUÊTE D'UN ROBOT ADAPTÉ ET ADOPTÉ

En chirurgie digestive, la robotique fait son nid... petit à petit! Au cours de ces dernières années, les défis à relever ont en effet été nombreux dans cette spécialité: mise au point d'un dispositif adapté à ses spécificités, recherche de l'adhésion des chirurgiens, diversification des applications...



### DE LA THÉORIE...

Pour rappel, la chirurgie digestive a pour périmètre les organes abdominaux internes (œsophage, estomac, foie, rate, pancréas, intestins) ainsi que la paroi de l'abdomen. Cependant, dans cette discipline, toutes les interventions ne sont pas destinées à être robot-assistées. Aujourd'hui, la chirurgie robot-assistée est principalement utilisée pour les chirurgies des cancers du côlon, du rectum, du pancréas, du foie, de l'estomac, ainsi que, plus récemment, pour le traitement des pathologies colorectales, la chirurgie bariatrique, notamment pour le *bypass* gastrique, les cures de hernies abdominales.

### À LA PRATIQUE

Le robot est doté de bras articulés: l'un gère l'optique (la caméra); les autres portent les instruments

nécessaires à cette chirurgie mini-invasive. Assis à une console, le chirurgien guide et contrôle les bras qui reproduisent ses mouvements. Les instruments peuvent être articulés à 360° et le praticien bénéficie d'une vision en 3D et HD, multipliée jusqu'à dix fois.

### UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Si la *coelioscopie* marqua une révolution dans la pratique chirurgicale, permettant l'avènement du mini-invasif, en chirurgie viscérale et digestive, cette pratique s'est d'abord « limitée à des interventions de complexité faible (*cholécystectomie*, *appendicectomie*) ou intermédiaire (*fundoplicature*, *colectomie*, *splénectomie*, *court-circuit gastrique*) », explique le D<sup>r</sup> Alain Valverde, chef du service de chirurgie digestive du Groupe Hospitalier Diaconesses-Croix Saint-Simon, dans l'état des lieux de l'Académie nationale de chirurgie. « *La robotisation en chirurgie* » (2020).

Parmi les difficultés rencontrées, les instruments utilisés en coelioscopie s'avéraient contraignants et modifiaient le geste chirurgical par rapport à la chirurgie ouverte. Par ailleurs, la vision en 2D supprimait la notion de profondeur et compliquait certains gestes dont les sutures. L'objectif, pour les industriels de robots chirurgicaux, a donc été de dépasser ces difficultés...

## La robotique comme réponse aux obstacles

Les premières expérimentations robot-assistées en chirurgie digestive furent réalisées entre le milieu et la fin des années 1990, mais la première génération de robots ne se prêtait guère à cette

spécialité. Puis, dans le sillage des urologues, certaines équipes pionnières ouvrirent la voie à la chirurgie digestive robotique : Laurent Bresler et Laurent Brunaud à Nancy, Jean Boulez à Lyon. Au début des années 2000, la chirurgie digestive robotique connut un véritable essor au niveau mondial, sous l'impulsion de l'Italien Piero Giuliannotti qui, le premier, réalisa des interventions complexes (gastrectomie, hépatectomie...).

Cependant, « *la chirurgie digestive robotique a eu du mal à se développer en France, probablement parce que les chirurgiens digestifs français avaient une très grande expérience de la laparoscopie et qu'ils n'ont pas vu immédiatement les avantages que pourrait leur apporter un système robotique* », analyse le rapport de l'Association Française de Chirurgie (AFC) consacré à la chirurgie robotique digestive, et présenté au 123<sup>e</sup> Congrès français de chirurgie en 2021. Mais les améliorations technologiques apportées au robot firent entrevoir à certains d'entre eux l'opportunité que pouvait représenter la robotique pour leur pratique, notamment pour la chirurgie du cancer du rectum, particulièrement délicate.

## Au service du chirurgien et du patient

Du fait de son utilisation à la fois récente et limitée à un périmètre restreint d'interventions en digestif, et de la difficulté à mettre en œuvre des études randomisées pour évaluer les pratiques chirurgicales, un faible nombre d'études scientifiques a été

mené sur le bénéfice patient par rapport à la coelioscopie. Cependant, il est désormais avéré que la chirurgie robot-assistée réduit les douleurs postopératoires, permet d'accélérer la reprise du transit intestinal, de réduire la durée d'hospitalisation et de reprendre plus rapidement ses activités habituelles. Du côté des praticiens, les avantages sont eux aussi réels. Comme pour les autres spécialités chirurgicales, la robotique permet au chirurgien digestif de travailler de manière plus confortable, diminuant la fatigue et gommant les tremblements tout en bénéficiant d'une vision magnifiée et en 3D. En outre, la stabilité et la précision des gestes sont également augmentées.

## Une adhésion grandissante

Au début des années 2020, la diffusion plus large d'une nouvelle génération de robot laisse entrevoir la possibilité d'élargir le champ des interventions robot-assistées, notamment des chirurgies particulièrement complexes et pariétales.

L'adhésion des chirurgiens grandit face à une technologie qu'ils sont de plus en plus nombreux à estimer comme « *une aide considérable permettant la réalisation d'une chirurgie mini-invasive, quelle qu'elle soit, dans des conditions optimales* » (source : Rapport de l'AFC, 2021). D'autant que, comme dans les autres spécialités chirurgicales, les jeunes chirurgiens sont désormais formés à cette modalité au cours de leur cursus universitaire, participant à la faire adopter dans l'arsenal thérapeutique de la chirurgie digestive.

### Chiffre clé

47 000

C'est le nombre de personnes touchées chaque année en France par un cancer colorectal – le cancer digestif le plus fréquent.

Source : « Panorama des cancers en France », Institut national du cancer, édition 2023

## LE ROBOT, UN ALLIÉ CONTRE LE CANCER DU POUMON

Si l'utilisation de l'outil robotique a été un peu plus tardive en chirurgie thoracique que dans la plupart des autres spécialités, sa diffusion n'en est pas moins aujourd'hui réelle et, plus encore, porteuse de belles améliorations, notamment dans la prise en charge du cancer du poumon.



### DE LA THÉORIE...

Bien qu'il puisse être utilisé pour la résection de certaines tumeurs du médiastin<sup>®</sup>, le robot chirurgical est majoritairement utilisé en thoracique pour la chirurgie du cancer du poumon. « *Cet organe vital, caché dans la cage thoracique et connecté au cœur, est pourvu d'une anatomie délicate, très concentrée dans l'espace et comportant les bronches, des artères et des veines*, décrit le Dr Marion Durand, chirurgienne thoracique et cardiovasculaire au Groupe hospitalier privé Ambroise Paré Hartmann (Neuilly-sur-Seine) et responsable de la task-force robotique de la Société européenne de chirurgie cardio-thoracique (EACTS). *Le poumon est comme un arbre, avec des branches et des sous-branches, sur lequel le cancer est installé tel un nid de coucou. Ainsi, quand on opère une tumeur du poumon, il faut disséquer l'artère, la veine et la bronche qui concernent la partie de poumon que l'on veut retirer.* »

La cage thoracique étant semi-rigide, réaliser ces gestes en chirurgie ouverte nécessite de couper les muscles et d'écartier les côtes. « *Avec le robot, la chirurgie en immersion nous donne la capacité de cette chirurgie ouverte mais en milieu fermé, explique le Dr Durand. C'est une vraie révolution pour le patient en termes de suites opératoires, de récupération et de réduction d'éventuelles séquelles fonctionnelles.* »

### À LA PRATIQUE

Comme dans les autres spécialités chirurgicales, le système utilisé en chirurgie thoracique repose sur des bras articulés pourvus d'instruments et d'une caméra, un écran de rappel et une console. « *Le chirurgien pilote les bras depuis la console qui lui confère une vision 3D et grossie dix fois*, détaille le Dr Durand. *On peut avoir trois mains à l'intérieur du patient grâce aux bras du robot dotés de très petits*

Fin des années  
2000

Arrivée de dispositifs adaptés à la chirurgie thoracique et cardiovasculaire

2008

Les premiers centres pionniers français commencent à recourir à la robotique

Années  
2010

Développement de l'utilisation du robot dans la discipline



2011

## Chiffre clé

C'est l'année durant laquelle a eu lieu la première lobectomie  pour cancer en France. Entre 2014 et 2019, ce chiffre est passé de 162 à 522 par an.

Source : « La robotisation en chirurgie », Académie nationale de chirurgie, 2020

## CHIRURGIE ROBOTIQUE THORACIQUE

*trocarts  (9 mm de diamètre) qui passent aisément à travers les côtes. Non seulement on est donc transformé en chirurgien augmenté dans ses capacités techniques et visuelles, mais on peut en outre réaliser des gestes d'une complexité et d'une précision avancées. Par ailleurs, on a vraiment l'impression de travailler avec ses mains.»* Une véritable chirurgie en immersion.

## UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Le développement de la robotique, est plus largement des techniques mini-invasives, a été plus tardif en chirurgie thoracique que dans les autres spécialités. « D'une part par crainte des plaies vasculaires majeures, mais aussi par peur de diminuer la qualité des gestes oncologiques », souligne l'état des lieux de l'Académie nationale de chirurgie sur la robotisation de la chirurgie (2020). « Par ailleurs, les premiers télémanipulateurs, apparus au début des années 2000 n'étaient pas calibrés pour les besoins et les spécificités de la chirurgie thoracique », renchérit le Dr Durand.

Si des premières interventions robotiques furent réalisées à travers le monde au cours des années 2000, « c'est avec l'arrivée d'une nouvelle génération de robots entre la fin des années 2000 et le début des années 2010 que des chirurgiens ont commencé à l'utiliser en France », relate le Dr Durand. Parmi ces pionniers figurent les CHU de Strasbourg, Marseille et Rouen et l'Hôpital privé d'Antony qui commencèrent en 2008 et comptent aujourd'hui parmi les centres de référence en la matière.

### La VATS

La chirurgie thoracique vidéo-assistée (VATS), réalisée à l'aide d'un thoracoscope muni d'une petite caméra vidéo, a pour objectif de réduire l'invasivité de la thoracotomie et les complications.

### Un usage en extension

Et si le démarrage fut confidentiel, la diffusion de la technologie n'en fut pas moins rapide ! Selon les données de la Société française de chirurgie thoracique et cardiovasculaire (SFCTCV), en 2020, le robot était utilisé dans 50 centres. « Depuis la dizaine d'années que le robot a commencé à être utilisé en thoracique, son développement ne cesse de se poursuivre dans la spécialité, note le Dr Durand. La chirurgie robotique gagne du terrain en termes de conviction du côté des chirurgiens car elle a montré qu'elle participait à la grande amélioration de la prise en charge du cancer du poumon que l'on connaît ces dernières années. »

Pris à un stade précoce, le cancer du poumon très localisé peut être traité uniquement par chirurgie mais, dans de nombreux cas, différents traitements y sont souvent associés : chimiothérapie avant et/ou après chirurgie, radiothérapie, immunothérapie, thérapies ciblées, etc. « Souvent, le traitement du cancer du poumon nécessite un traitement médical associé à la chirurgie. Quand une chimiothérapie est

requis après une intervention, mais que l'état général du patient est dégradé suite à des complications postopératoires, le traitement est incomplet, illustre le Dr Durand. Avec ces nouvelles techniques moins invasives, il y a moins de complications, la récupération est facilitée et il est davantage possible d'administrer le traitement complet. »

### Vers la chirurgie ambulatoire

Mais une autre révolution se joue en parallèle. En effet, grâce à la précision accrue des systèmes, les chirurgiens thoraciques peuvent travailler dans de tout petits espaces, ce qui permet de respecter les plans de dissection, d'atténuer les saignements et de réaliser des opérations plus complexes. « Grâce à l'outil robotique, on parvient à mieux disséquer les sous-branches pulmonaires pour retirer des segments sous-lobaires là où, auparavant, on retirait les lobes, donc une partie non négligeable du poumon, décrit la chirurgienne. La résection sous-lobaire est mieux réalisée en chirurgie robotique grâce au grossissement des structures offert par le dispositif. » Une résection qui permet, *in fine*, de prévenir la récurrence pour certaines tumeurs.

« Les essais cliniques ont en effet démontré que, pour une tumeur de moins de 2 cm sans ganglion malade, il vaut mieux faire une résection sous-lobaire que lobaire, poursuit le Dr Durand. Auparavant, c'était un geste redouté et l'hospitalisation durait une à deux semaines. Dorénavant, avec les protocoles de récupération améliorée après chirurgie (RAAC), on peut envisager de sortir au deuxième jour postopératoire, ce qui

n'était pas envisageable il y a encore dix ans. Demain, ces chirurgies se feront probablement en ambulatoire. »

### Des bénéfices plus grands

De belles perspectives donc, même si des améliorations sont encore attendues notamment sur l'absence de retour de force dans les doigts du chirurgien, une limite qui est, « (...) avec l'expérience, compensée par la qualité de la vision et l'observation de la déformation des tissus », comme le pointe le rapport de l'Académie nationale de chirurgie. Les industriels y travaillent. C'est aussi pour répondre à la problématique du moment risqué que représente le geste d'agrafage notamment vasculaire que les robots ont été dotés « d'une technologie d'agrafage robotique permettant à l'opérateur de réaliser ce geste depuis sa console ». Autre optimisation attendue : une miniaturisation encore plus grande des instruments. « C'est un sujet important, tout comme le développement d'outils encore plus spécialisés ainsi que celui de l'intégration des images avec de la réalité augmentée », relève le Dr Durand.

Des adaptations technologiques qui montrent que le chemin de la robotique chirurgicale n'est pas terminé, mais l'experte en est sûre, « nous nous dirigeons vers une démocratisation de ces outils. Ils restent encore onéreux aujourd'hui, et leur intégration est limitée par l'absence de soutien financier spécifique de la part des tutelles. Certes, ces technologies innovantes coûtent cher mais il faut relativiser cet investissement car le cancer du poumon, dont l'outil robotique est au cœur du traitement curatif, reste le plus meurtrier. »

## CHIRURGIE ROBOTIQUE GYNÉCOLOGIQUE ONCOLOGIQUE

# VERS DES APPLICATIONS TOUJOURS PLUS VASTES?

C'est en chirurgie oncologique que la robotique a fait son entrée dans la spécialité gynécologique. Aujourd'hui reconnue comme l'approche chirurgicale de référence dans la prise en charge du cancer de l'endomètre, la chirurgie robotique a encore, sur le plan oncologique, de belles perspectives d'évolution dans cette spécialité.



### DE LA THÉORIE...

En gynécologie oncologique, on recourt à la chirurgie mini-invasive surtout pour traiter les cancers de l'endomètre, où la chirurgie robotique permet d'augmenter le taux de mini-invasif. «*Pour les cancers des ovaires et du col de l'utérus, les recommandations privilégient aujourd'hui la chirurgie ouverte*», rappelle le Pr Vincent Lavoué, chirurgien gynécologue-obstétricien au CHU de Rennes. L'outil robotique permettant des gestes d'une grande précision tout en étant moins invasifs par rapport à la laparotomie, l'intervention est moins traumatisante et moins douloureuse en postopératoire.

### À LA PRATIQUE

Tel un perfectionnement de la technique de coelioscopie classique, «*le système robotique chirurgical est une étape supplémentaire dans la chirurgie mini-invasive*», selon le Pr Vincent Lavoué. Comme dans la plupart des spécialités chirurgicales, le robot est doté de bras munis d'instruments et articulés par le chirurgien depuis une console d'où il dispose d'une vision du champ opératoire en trois dimensions. «*Il y a plusieurs paramètres qui permettent d'améliorer le geste chirurgical*», précise le Dr Enrica Bentivegna, chirurgienne cancérologue en gynécologie à l'Hôpital européen Georges Pompidou (AP-HP). >>>

»»» D'une part, il y a une augmentation de la qualité de la vision grâce à la 3D et, d'autre part, la technologie avancée dont est dotée le robot améliore l'ergonomie et la dextérité. » « Le joystick permet d'augmenter la maniabilité de l'instrument, corrobore le Pr Lavoué. En coelioscopie, en effet, le mouvement de pinces consiste à s'ouvrir et à se fermer. Avec le robot, en revanche, la pince est maniable dans les quatre axes, ce qui rend les mouvements beaucoup plus précis tout en permettant de filtrer les tremblements. »

### UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Si le premier robot chirurgical apparut à la fin des années 1990, son usage resta relativement confidentiel jusqu'à ce que les urologues s'en emparent. Spécialité voisine, la gynécologie lui emboîta le pas à partir du milieu des années 2000. « Dans notre spécialité, le robot chirurgical a trouvé son application initiale en chirurgie oncologique, explique le Dr Bentivegna. Son utilisation s'est ensuite récemment étendue à la chirurgie bénigne. » Ce que complète le Pr Lavoué : « Et depuis 2010, son usage a augmenté peu à peu, puis de manière exponentielle depuis trois-quatre ans environ. »

En fonction de l'étendue de la maladie et des comorbidités des patientes, la chirurgie robot-assistée peut être appliquée aux trois types de cancers gynécologiques : celui de l'endomètre, celui du col de l'utérus et celui des ovaires.

Au cours des années, les études scientifiques ont permis, d'une part, de renforcer l'utilisation du robot pour certaines indications (comme pour le cancer

de l'endomètre), et, d'autre part, de restreindre son utilisation (dans la prise en charge du cancer du col de l'utérus, par exemple).

### Cancer de l'endomètre : des bénéfices per- et postopératoires certains

Pour le cancer de l'endomètre, l'usage du robot est devenu une routine dans les centres experts. Pour cette pathologie classiquement traitée par voie d'abord coelioscopique en effet, le robot chirurgical a permis des améliorations certaines : « Nous disposons de données montrant que les interventions avec le robot sont moins invasives, moins traumatiques, et donc avec des suites plus rapides », explique le Pr Lavoué. Par ailleurs, certains cancers se présentant sous forme métastatique au niveau ganglionnaire peuvent désormais également être traités par voie robotique. Enfin, cela a élargi l'éventail de profils pris en charge en permettant d'opérer des patientes obèses, fragiles, âgées, multi-opérées, etc., et dont les cas posaient souci pour la chirurgie coelioscopique auparavant.

S'il n'est pas de gain notable constaté en matière de temps opératoire, « ce n'est de toute façon pas le but à atteindre, selon moi. En chirurgie oncologique, on recherche un geste chirurgical précis et qui n'entraîne pas de complications per- et postopératoires. Et le robot y participe en permettant de réduire les saignements, les douleurs ainsi que les durées d'hospitalisation », insiste le Dr Bentivegna. Des bénéfices d'autant plus importants en chirurgie

oncologique qu'ils signifient « qu'une patiente opérée d'un cancer par voie robotique pourra bénéficier plus rapidement des traitements adjuvants (thérapie ciblée, radiothérapie, chimiothérapie...) qui vont compléter sa prise en charge globale », souligne l'experte.

### La robotique pour le cancer des ovaires pris précocement

Quant à l'utilisation du robot pour le traitement du cancer de l'ovaire, la problématique est directement liée aux caractéristiques de la maladie elle-même. Parce qu'il évolue de façon asymptomatique, ce cancer est le plus souvent diagnostiqué à un stade avancé. « La maladie est alors déjà diffuse à l'ensemble de la cavité abdomino-pelvienne, explique le Dr Bentivegna. Dans cette situation, la chirurgie touchant plusieurs endroits de la cavité et pour des questions d'accessibilité, elle se fait par voie laparotomique selon les recommandations. »

Cependant, ces dernières années, la prise en charge du cancer de l'ovaire a évolué : « Nous avons à disposition des nouvelles molécules qui ont permis de réduire drastiquement le risque de récurrence de la maladie et l'on opère aujourd'hui des patientes moins malades qu'avant car en chirurgie intervallaire, c'est-à-dire après une chimiothérapie néoadjuvante qui permet de réduire l'étendue de la maladie. Dans ce cas, une chirurgie robotique peut être envisagée, mais toujours dans un centre expert », rappelle la chirurgienne. De plus, le recours à la voie mini-invasive permet une récupération plus rapide des patientes qui peuvent reprendre la chimiothérapie plus rapidement.

Années  
1990

Début de la robotique en urologie

Milieu des années  
2000

Début de la robotique en chirurgie gynécologique oncologique

Années  
2010

Développement de la robotique en chirurgie gynécologique oncologique

Depuis  
2020

Accélération de l'usage de la robotique en chirurgie gynécologique oncologique



## Cancer du col de l'utérus : la voie mini-invasive en question

En 2018, l'étude dite LACC (*Laparoscopic Approach to Cervical Cancer Trial*) décrit des résultats oncologiques en faveur de la laparotomie comparativement à la voie mini-invasive, dans la prise en charge des cancers localisés du col de l'utérus.

Ses conclusions mettaient en évidence une augmentation du taux de récurrence et une réduction de la survie globale pour les patientes opérées par voie mini-invasive, entraînant une diminution du recours au robot. Un résultat à nuancer cependant, comme l'analyse le Dr Bentivegna : « *Seules 16% des patientes incluses avaient été opérées par voie robotique. Il est donc difficile d'élargir les conclusions de l'étude et, pour les petits cancers considérés à bas risque, la voie mini-invasive peut toujours être envisagée. Mais il faut s'en tenir exclusivement à une prise en charge dans les centres experts. Par ailleurs, un champ d'application très intéressant est celui de la prise en charge des récurrences d'un cancer du col de l'utérus en terrain précédemment irradié.* »

90%

### Chiffre clé

C'est la proportion des cancers du col de l'utérus qui peuvent être évités grâce au dépistage des lésions précancéreuses. Le cancer du col de l'utérus est responsable de 1100 décès chaque année en France.

Source : « Panorama des cancers en France », Institut national du cancer, édition 2023

»» Il s'agit d'une chirurgie techniquement difficile et qui bénéficie énormément des améliorations que le robot offre en termes de vision et de précision du geste. Ce type d'intervention peut nécessiter de toucher à la vessie et/ou au rectum et la possibilité de réaliser le geste par voie mini-invasive joue énormément sur l'acceptation du traitement et la qualité de vie de la patiente. »

### Récolter des données médico-économiques et à visée pédagogique

Néanmoins, comme dans les autres spécialités, des études sont nécessaires pour démontrer, données à l'appui, les avantages médico-économiques de la robotique dont l'usage reste récent. Un manque de données qui a pu, selon le Pr Lavoué, entraîner un certain frein du côté médical: «*Les bénéfices médico-économiques de la chirurgie robotique par rapport aux techniques classiques n'étant pas encore pleinement établis par des données, certains ont pu s'interroger sur le bien-fondé de s'équiper en robotique. Comme pour toute innovation technique et technologique, il faut que la courbe d'apprentissage passe*».

De fait, divers établissements sont engagés dans des études cliniques d'évaluation de l'outil robotique en gynécologie oncologique, comme au CHU de Rennes par exemple: «*Nous menons une recherche sur les avantages de la coelioscopie versus ceux de la robotique pour le cancer de l'endomètre, relate le Pr Lavoué. C'est une étude multicentrique avec une évaluation médico-économique*».

Le dispositif robotique enregistrant les gestes du chirurgien, «*cela permet de décortiquer quelque chose qui relevait auparavant de l'expérience mais que nous ne pouvions pas analyser*, continue le Pr Lavoué. *L'interface informatique permet d'améliorer cela et de travailler à l'élaboration d'outils pédagogiques pour les jeunes chirurgiens.* »

### L'intégration de l'imagerie bientôt disponible

Les industriels travaillent également à l'intégration de l'imagerie au dispositif, un axe d'amélioration bientôt disponible. L'objectif est que le robot puisse, via l'analyse de l'imagerie réalisée, guider encore davantage les gestes du chirurgien pour être encore plus précis et respectueux des structures nobles à ne pas toucher.

En effet, les patientes souffrant d'un cancer gynécologique bénéficient, avant leur prise en charge, d'un bilan de stadification qui, selon leur cancer, peut être fait par IRM, scanner ou TEP-scan. Le bilan permet de décider si la chirurgie doit être réalisée immédiatement ou après un traitement néoadjuvant <sup>Ⓞ</sup>. Une nouvelle imagerie est ensuite réalisée avant le geste chirurgical qui a pour fonction d'enlever le reste tumoral. Dans ce cas, l'œil humain peut avoir des limites dans la visualisation de la maladie résiduelle. «*Or, l'intégration de l'imagerie quand on opère serait une aide extrêmement performante en chirurgie oncologique, qui a pour but d'enlever la maladie dans sa totalité en respectant les organes qui ne sont pas atteints*», rappelle le D<sup>r</sup> Bentivegna.

### Des attentes et des perspectives

D'autres évolutions sont également attendues du côté des professionnels de santé. Les industriels travaillent déjà sur certaines d'entre elles, comme une miniaturisation toujours plus importante pour «*aller vers encore moins de cicatrices*», explique le Pr Lavoué. Pour le D<sup>r</sup> Bentivegna, une amélioration de la performance de la machine en termes de retour de force est également souhaitable: «*Si un chirurgien expérimenté va compenser le manque de sensations par sa vision, c'est en revanche un élément dangereux pour les chirurgiens débutants.* » «*Améliorer encore la sécurité chirurgicale via un système informatique embarqué dans lequel implémenter des consignes de sécurité est également une piste*», suggère encore le Pr Lavoué.

Mais c'est surtout l'extension de ces progrès à tous les domaines oncologiques qui promet de belles perspectives, comme le souligne le D<sup>r</sup> Bentivegna: «*La recherche étant très poussée en termes de nouvelles thérapeutiques (traitements ciblés, immunothérapie notamment), les patientes présentent de plus en plus des résidus tumoraux microscopiques pour lesquels nous arrivons à la limite de l'œil humain. En couplant la vision robotique avec des traceurs, comme la fluorescence <sup>Ⓞ</sup> qui nous permet, depuis les années 2010, de cibler le ganglion sentinelle, nous allons peut-être pouvoir dépasser cette limite.* »

## CHIRURGIE ROBOTIQUE GYNÉCOLOGIQUE NON ONCOLOGIQUE

# UN MOT D'ORDRE : PRÉSERVER TOUJOURS PLUS

En gynécologie bénigne et fonctionnelle (c'est-à-dire non oncologique), la chirurgie robotique est essentiellement utilisée pour améliorer la fertilité ou en conserver les propriétés malgré une pathologie.



### DE LA THÉORIE...

«L'appareil féminin, situé dans le pelvis, concentre de nombreux éléments : urètre, vagin, utérus, rectum, ainsi qu'énormément de nerfs qui diffusent vers les jambes, explique le D<sup>r</sup> Jean-Philippe Estrade, gynécologue-obstétricien et président de la Société de chirurgie gynécologique et pelvienne (SCGP). C'est un mécanisme fin et précis, si bien que chaque anomalie représente un gros challenge. À titre d'exemple, en cas d'endométriose qui altère

la région anatomique et les nerfs, il faut donc faire en sorte qu'il y ait le moins de séquelles possible à long terme. » Ainsi, l'objectif de la robotique est de pouvoir augmenter les indications de chirurgie mini-invasive auparavant réalisées par laparotomie : «La robotique permet d'opérer des maladies gynécologiques bénignes telles que les fibromes<sup>®</sup>, l'endométriose, etc. », précise le D<sup>r</sup> Estrade. Et comme la précision est hautement augmentée avec le robot, il y a moins de séquelles sur la fertilité : «Une intervention reste agressive sur l'appareil génital mais, >>>

»» grâce à l'outil robotique, on peut réaliser des chirurgies de la région pelvienne très conservatrices, laisser les organes les plus intègres possibles et éviter de nombreuses séquelles. Pour l'endométriose, par exemple, on parvient à éviter certaines ablations comme celle du rectum.»

### À LA PRATIQUE

À l'instar des procédures, les instruments utilisés et commandés par le chirurgien via sa console sont «*sensiblement les mêmes qu'en chirurgies laparoscopique et coelioscopique classiques, mais ils sont*

*légèrement miniaturisés*, précise le D<sup>r</sup> Estrade. *Et cependant, la technologie robotique propose sept niveaux de liberté (rotation, translation, etc.)*».

Ce paramètre, associé à la proximité et à la précision offertes par la caméra HD, permet plus de finesse dans le geste mais aussi d'en augmenter la réactivité: toutes les commandes se font en effet en temps réel, les pinces robotisées obéissant à la volonté du chirurgien. «*Le robot permet par exemple de se saisir d'une tumeur bénigne, d'en faire le tour, de disséquer les tissus et de voir l'infiniment petit qu'on ne pourrait percevoir avec l'œil humain*, illustre le D<sup>r</sup> Estrade. *Les mouvements sont à la fois plus fins et plus sensibles tout en conservant une grande liberté.*»

### UNE HISTOIRE D'INNOVATION

L'essor de la robotique chirurgicale en gynécologie est intimement lié à celui en urologie, à qui elle a emboîté le pas très rapidement. Ce qui n'est guère étonnant pour deux disciplines voisines dont le périmètre opératoire concerne la même zone du corps humain. Ainsi, l'utilisation du robot en gynécologie s'est démocratisée au cours des années 2000, les gynécologues-obstétriciens bénéficiant des compétences et des connaissances que leurs confrères urologues avaient déjà réunies en la matière.

«*Aujourd'hui cependant, la robotique chirurgicale a de plus en plus d'indications en gynécologie et, avec un véritable virage depuis le début des années 2020, elle se démocratise et a fait son entrée dans les congrès*», raconte le D<sup>r</sup> Estrade.

### Et demain

Reste la question de l'accès au robot, une problématique largement partagée: «*L'équipement restant onéreux, il est encore partagé avec les autres spécialités*, constate en effet le D<sup>r</sup> Estrade. *De ce fait, nous sélectionnons les cas selon leur pertinence et la disponibilité du robot. Le cas échéant, la chirurgie robotique est proposée à la patiente*».

D'autres perspectives d'amélioration sont attendues du côté des professionnels de santé, portant sur la vision et les instruments notamment afin d'être encore plus spécifique: énergies pour coaguler, ultrasons, lasers encore plus précis, etc. La question de jumeler les imageries d'un scanner ou d'une IRM est également une attente forte, sur laquelle les industriels travaillent: «*Cela permettra d'avoir une cartographie précise et, ainsi, de pouvoir encore plus préserver les organes et les tissus*», selon le D<sup>r</sup> Estrade. En attendant, poursuit-il, la chirurgie robotique a déjà démontré son bénéfice en gynécologie en permettant «*d'améliorer les procédures chirurgicales en favorisant la standardisation des protocoles opératoires*».

#### Chiffre clé

1,5 à 2,5  
millions

C'est le nombre de femmes touchées par l'endométriose en France, soit 10 % des femmes en âge de procréer.

Source: Site du ministère de la Santé et de la Prévention, 2023

# UN ROBOT POUR DE MULTIPLES INDICATIONS

Parce qu'elle prend en charge de jeunes patients, la chirurgie pédiatrique est une spécialité très particulière. Une spécificité qui explique que le recours à la chirurgie robotique y a été un peu plus tardif que dans d'autres spécialités. Ce qui ne l'empêche pas d'y avoir ouvert de belles perspectives.



## DE LA THÉORIE...

L'outil robotique peut être utilisé dans l'ensemble des spécialités de chirurgie pédiatrique (urologie, chirurgie viscérale, gynécologie, thoracique, oncologie, ORL) dans le cadre d'interventions complexes de chirurgie ablative ou reconstructive. Dans les faits, cependant, l'urologie pédiatrique se distingue pour être la spécialité la plus représentée; la plupart des autres spécialités, comme la chirurgie thoracique ou l'oncologie, restent en effet moins explorées à l'heure actuelle. « *Le robot*

*permet de repousser les indications de la chirurgie mini-invasive en chirurgie pédiatrique, explique le Pr Thomas Blanc, chirurgien pédiatrique à l'Hôpital Necker (AP-HP). On va au-delà de la laparoscopie et on réalise des interventions jamais faites en coelioscopie en passant directement de la chirurgie ouverte à la chirurgie robotique. »*

Conséquences: des hospitalisations moins longues, une diminution des douleurs postopératoires et des séquelles esthétiques, et des chances d'éviter des traumatismes psychologiques liés à des hospitalisations prolongées. >>>

### À LA PRATIQUE

Les dispositifs robotiques utilisés en pédiatrie sont les mêmes que ceux utilisés pour les adultes, avec les instruments de microchirurgie adaptés à la taille des enfants. Grâce à sa haute technologie,



le robot apporte deux avantages majeurs qui élargissent de fait les possibilités de cette pratique chez l'enfant : une qualité de vision (3D et haute définition) avec la possibilité de zoomer, et une gestuelle fine dans un espace restreint grâce aux sept degrés de liberté des instruments robotisés.

### UNE HISTOIRE D'INNOVATION

C'est aux États-Unis, à Seattle, que commença la belle histoire de la robotique pédiatrique, avec l'équipe du Pr John Meehan, pionnier en chirurgie thoracique et viscérale notamment. En France, elle débuta peu après, en 2007, aux CHU de Tours et de Limoges, « deux centres précurseurs qui ont maintenant plus de quinze ans d'expérience et une véritable expertise », rappelle le Pr Blanc. Les chirurgiens des deux centres, qui ont étroitement collaboré, ont notamment travaillé sur la possibilité d'utiliser un robot chirurgical chez les enfants de moins de 15 kilos et en situation d'urgence.

### L'arrivée de robots spécialisés

Au milieu des années 2010, l'arrivée de nouvelles versions de robots, plus adaptées à la pédiatrie, participa à l'essor de la chirurgie robotique pédiatrique. En 2016, l'Hôpital Necker-Enfants malades à Paris fut ainsi le premier en France à se doter d'un robot spécifiquement dédié à la pédiatrie : « Nous avons à Necker un programme de chirurgie robotique pédiatrique multidisciplinaire dédié pour l'urologie, la

chirurgie digestive, l'oncologie, la chirurgie thoracique, la chirurgie ORL, la chirurgie transorale, etc., sachant que les ORL et les neurochirurgiens disposent également d'un autre robot, propre à leurs spécialités. Il y a ainsi, à Necker, plusieurs systèmes robotiques différenciés, adaptés en fonction des indications opératoires », précise le Pr Thomas Blanc.

Cet équipement de pointe, synonyme de nouveau bond en avant dans la chirurgie mini-invasive, améliorera la qualité de vie des jeunes patients. Cependant, si la chirurgie mini-invasive bénéficia de progrès considérables entre les années 2000 et 2010, l'adoption de ces techniques, notamment robotiques, restait plus limitée dans le secteur pédiatrique.

### La robotique pédiatrique, une niche ?

Cependant, « si la chirurgie robotique pédiatrique reste une niche comparée à la chirurgie robotique chez l'adulte, le nombre de CHU équipés de robots permettant aux chirurgiens pédiatriques d'avoir accès au système a nettement augmenté au cours des dernières années », nuance le Pr Blanc. Plus des trois-quarts des CHU le leur permettent désormais. Il y a une vraie dynamique en France, pays d'Europe avec la plus grande exposition à la robotique en chirurgie pédiatrique, même si le pays ne compte que deux systèmes exclusivement dédiés à cette spécialité. » Les autres robots étant partagés avec les spécialités adultes, « cela en restreint l'accès, si bien qu'il est plus difficile de développer rapidement une expertise », regrette le chirurgien pédiatrique.

# 2007

Premières expérimentations en chirurgie robotique urologique

Milieu des années

# 2010

Premières prostatectomies robot-assistées

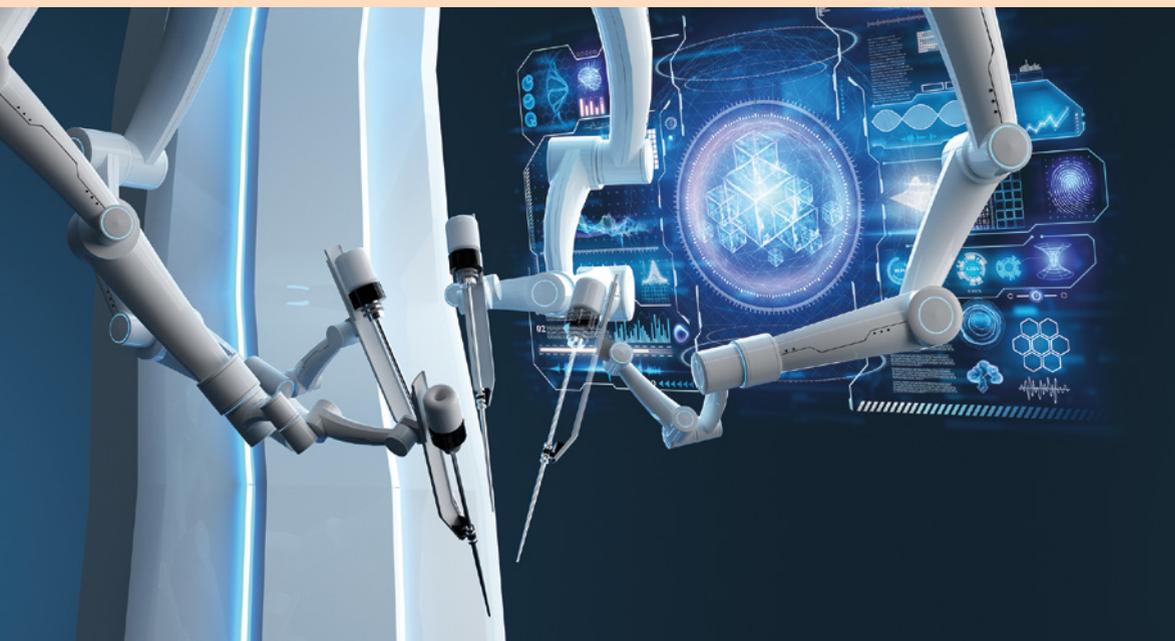
# 2016

Début de la chirurgie robotique orthopédique avec scanner

Depuis les années

# 2020

Les trois-quarts des CHU équipés de robots en proposent l'accès aux chirurgiens pédiatriques



## Une spécialité pas comme les autres

Outre la petite proportion de patients concernés ainsi que leur jeune âge, la chirurgie pédiatrique est particulière en ce qu'elle traite de « (...) pathologies rares, malformations et tumeurs qui se caractérisent par leur grande variété de présentation », comme le souligne le rapport « La robotisation en chirurgie », de l'Académie nationale de chirurgie (2020).

Des spécificités qui exigent un examen particulièrement attentif de chaque cas afin de s'assurer qu'une prise en charge robotique est non seulement possible mais également pertinente. « Ainsi, dans notre service, chaque dossier fait l'objet d'une discussion et d'une décision collégiales », précise le Pr Blanc. D'autant que, dans la plupart des spécialités adultes, la chirurgie robotique a peu d'indications mais un volume d'activité très important. En pédiatrie, au contraire, il y a énormément d'indications différentes (plus de 90 réalisées à l'Hôpital Necker), mais le volume d'activité est plus faible. Il est donc plus difficile de standardiser les procédures, et la courbe d'apprentissage est nécessairement plus longue. » >>>

# 356

## Chiffre clé

C'est le nombre de médecins exerçant la spécialité de chirurgie infantile (viscérale et orthopédique) en France en 2023.

Source : Atlas de la démographie médicale 2023, CNOM.

»» Ce qui explique que des chirurgiens non experts confient la prise en charge de certains jeunes patients aux équipes pédiatriques spécialisées en robotique chirurgicale.

### Une équipe dédiée

En effet, si la formation est un enjeu crucial en chirurgie robotique, elle l'est tout particulièrement en pédiatrie, en raison des spécificités précédemment évoquées. Et cela concerne tant les chirurgiens que tous les acteurs du bloc opératoire : anesthésistes, infirmiers anesthésistes (IADE), infirmiers de bloc opératoire (IBODE). En effet, le robot ayant été conçu pour les adultes, une adaptation de son utilisation en chirurgie pédiatrique est essentielle, tout comme « *une parfaite communication (...)*

*dès la planification du bloc opératoire, pour une juste évaluation des risques de la chirurgie et notamment du risque hémorragique* », précise le rapport de l'Académie de chirurgie. De plus, « *en chirurgie robotique, les IBODE ont un rôle clé car ils sont le prolongement des mains du chirurgien qui est assis à la console*, ajoute le P<sup>r</sup> Blanc. *Leur formation est donc essentielle, y compris sur le plan académique, ce qui est désormais possible grâce au DIU de chirurgie robotique de l'Université Paris Cité* ».

### Un domaine qui ne cesse d'évoluer

Quant aux perspectives d'évolution, « *la miniaturisation doit encore être améliorée* », pour le P<sup>r</sup> Blanc qui souligne néanmoins que les toutes dernières

générations de robots sont plus adaptées à la chirurgie pédiatrique qu'auparavant, permettant d'opérer des enfants très petits : « *À Necker, par exemple, la limite est fixée à 4 kilos* », illustre le P<sup>r</sup> Blanc. Autres améliorations en cours de diffusion : la chirurgie guidée par l'image avec l'intégration de reconstruction en 3D à la console du robot – déjà en place à l'Hôpital Necker grâce aux travaux du laboratoire IMAG2 du P<sup>r</sup> Sabine Sarnacki – ainsi que le robot *single port*, pour sa part déjà commercialisé aux États-Unis. Enfin, comme chez les adultes, le P<sup>r</sup> Blanc prévoit « *une standardisation des protocoles et des procédures pour les interventions les plus communes* ».

## Évaluation des dispositifs robotiques en pédiatrie

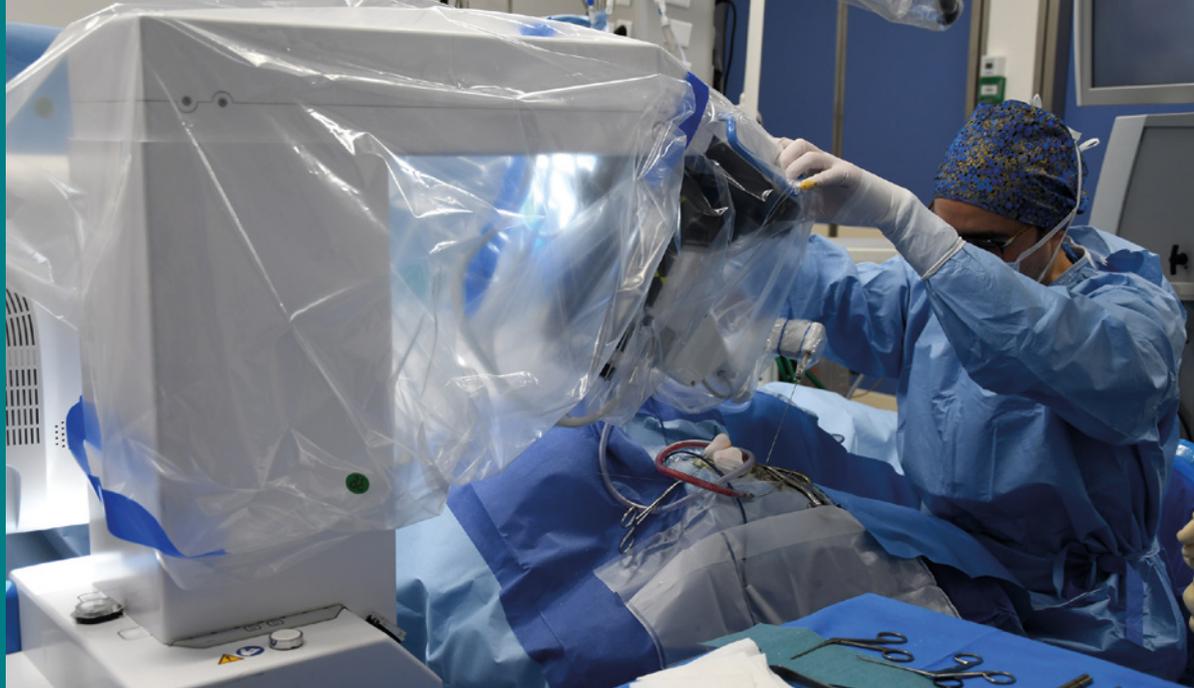
Une étude prospective est en cours pour évaluer la performance et l'efficacité de la chirurgie robotique chez l'enfant et l'adulte (PECROP). « *Nous avons constitué une base de données avec tous les enfants opérés avec une chirurgie robotique et nous les suivons pendant au moins un an*, détaille le P<sup>r</sup> Thomas Blanc, chirurgien en chirurgie viscérale et en urologie pédiatrique à l'Hôpital Necker (AP-HP). *L'analyse des données pré-, per- et postopératoires à l'Hôpital Necker-Enfants malades a donné lieu à de nombreuses publications, montrant notamment une faible morbidité et une diminution de la durée d'hospitalisation après une chirurgie robotique. Une étude*

*médico-économique comparant la coelioscopie et la chirurgie robotique est en cours. Avec le P<sup>r</sup> Morgan Roupret, urologue adulte à la Pitié-Salpêtrière, nous avons étendu cette étude à tous les hôpitaux de l'AP-HP ayant une activité robotique (adulte et enfant). L'objectif étant d'inclure entre 2 500 et 3 000 patients opérés au robot par an. Et nous menons des projets de recherche transversaux par pathologie et par spécialité. Cela représente un énorme pool de patients avec une expertise unique des chirurgiens.* »

## CHIRURGIE ROBOTIQUE EN ORL

# LA PRÉCISION ET LA MINIA- TURISATION, ARMES ESSENTIELLES DE L'ORL

Bien que récente, la robotique chirurgicale en ORL a connu un développement rapide mais surtout inédit avec la mise au point, en quelques années, d'un dispositif spécifiquement pensé pour les besoins de cette spécialité.



### DE LA THÉORIE...

La sphère ORL (oto-rhino-laryngologique) est une région complexe qui regroupe la plupart des organes des sens, les fonctions de déglutition et de la parole, des muscles, des glandes et des vaisseaux sanguins et lymphatiques. Dans cette spécialité, les applications de la robotique chez les adultes sont nombreuses : chirurgie transorale, implantation cochléaire, chirurgie otologique... Seule la chirurgie des sinus n'en bénéficie pas encore.

En particulier, l'otologie a pour objet les plus petites structures du corps humain, par ailleurs très fragiles. Et parce qu'elle renferme l'ouïe, un sens fondamental pour sociabiliser, éduquer et communiquer,

cette zone est également très précieuse. Y intervenir demande donc de disposer d'un outil très précis permettant de pallier les limites des gestes de la main humaine.

### À LA PRATIQUE

Si les robots utilisés dans les autres spécialités peuvent également l'être en ORL, il existe des systèmes spécialement conçus pour ce domaine, comme l'explique le Pr Yann NGuyen, chirurgien ORL dans le service d'oto-rhino-laryngologie de la Pitié-Salpêtrière (AP-HP) : « Il s'agit d'un télémanipulateur robotisé doté d'un bras qui porte soit l'instrumentation, soit l'optique. Ses particularités »

### Comprendre la chirurgie robot-assistée transorale

La chirurgie robot-assistée par voie trans-orale est une chirurgie mini-invasive qui permet d'aborder par les voies naturelles des régions anatomiques de la gorge (pharynx et larynx) auparavant inaccessibles ou presque pour le traitement de cancers de la zone ORL.

»» par rapport aux autres dispositifs sont sa dimension et sa forme qui optimisent le déplacement dans les structures de l'oreille tout en libérant au maximum le champ de vision. Et, bien entendu, le système est piloté et contrôlé à tout moment par le chirurgien.»

### UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Dès la fin des années 2000, la Food and Drug Administration américaine autorisa l'utilisation de la robotique en ORL pour la chirurgie transorale. La France lui emboîta le pas dès 2009 «pour la chirurgie du cou, de la thyroïde et les cancers du larynx et de l'oropharynx, relate le Pr NGuyen. Alors que l'ORL était relativement en retard en la matière, ce premier système permit à la spécialité de s'en emparer et favorisa les abords mini-invasifs.»

Entamé il y a une dizaine d'années, son usage resta assez limité, «non seulement parce qu'il n'était pas spécifiquement pensé pour l'ORL et était très volumineux pour cet usage, mais également parce que les autres spécialités, urologie en tête, s'en étaient déjà bien emparées, rendant le robot peu disponible pour l'ORL», poursuit le Pr NGuyen.

### De la cancérologie à l'otologie

C'est dans le service du Pr Olivier Sterkers, à l'Hôpital Beaujon (AP-HP), que naquit l'idée d'un robot spécifiquement dédié à la chirurgie otologique au milieu des années 2000. «Le postulat de départ était que la chirurgie de l'oreille est une microchirurgie dont les résultats dépendent beaucoup de la dextérité du chirurgien, explique le Pr NGuyen qui fit partie de l'aventure. L'idée était donc de se dire qu'en améliorant la gestuelle du chirurgien, on devait pouvoir améliorer les résultats et diminuer les complications. Et la robotique pouvait le permettre.»

L'équipe de chirurgiens ORL, par le biais d'une unité de recherche de l'Inserm créée à cette occasion, s'empara donc de la question, avec le soutien d'un industriel du dispositif médical français. «Différentes versions du prototype ont été conçues entre 2006 et 2016, date de l'obtention du marquage CE, se souvient le Pr NGuyen. Cela s'est fait autour d'un noyau dur de quelques médecins et ingénieurs, chacun apportant son expertise et ses compétences. Ainsi, les ORL ont fixé un cahier des charges selon les contraintes de leur pratique et les ingénieurs ont optimisé la forme

et les fonctions du robot pour le rendre compatible avec la chirurgie de l'oreille». Depuis, le dispositif dédié à l'ORL continue de faire ses preuves et de convaincre des équipes de référence en otologie, en France comme en Europe (Allemagne, Italie) et en Asie (Chine).

### Trouver son public

Le dispositif offre d'importants bénéfices en chirurgie otologique: il permet par exemple de lever toutes les contraintes liées à l'implantation du porte-électrodes pour l'implant cochléaire. Par ailleurs, le robot peut être utilisé pour tout profil de patient et pour toute chirurgie: ce sont des outils du quotidien pour tous les chirurgiens, quel que soit l'âge du patient, du bébé à la personne âgée. Et avec le vieillissement de la population, l'enjeu de la préservation de l'audition est d'autant plus crucial.



Milieu des années

2000

Début des travaux sur un robot dédié à la chirurgie otologique à l'Hôpital Beaujon

2009

Autorisation en France de l'utilisation de la robotique pour la chirurgie du cou, de la thyroïde et les cancers du larynx et de l'oropharynx

2016

Marquage CE du robot en ORL



Sur la question du gain de temps – qui n'est pas nécessairement recherché avec la robotique –, les interventions sont plus ou moins de la même durée (notons que les chirurgies otologiques sont peu longues de fait).

Reste la question de l'accès au dispositif : il est en effet nécessaire que les chirurgiens puissent l'utiliser souvent pour s'en servir bien. D'où l'importance d'un robot qui soit accessible financièrement : *« Il est en effet tellement spécialisé et optimisé pour l'oreille que le dispositif ne peut être multidisciplinaire, corrobore le P<sup>r</sup> NGuyen. C'est pourquoi il est important que son coût reste raisonnable mais aussi qu'il couvre tous les besoins de toutes les chirurgies de l'oreille : réparation d'une perforation du tympan, chirurgie de l'otospongiose<sup>®</sup>, pose d'un implant cochléaire, etc. Aujourd'hui, de plus en plus de chirurgiens l'utilisent, même si certains restent réfractaires à la chirurgie robotique. »*

## Chiffre clé

La perte d'audition est le premier facteur de risque évitable de la démence.

Source : *Dementia prevention, intervention, and care: 2020 report of the Lancet Commission*, Lancet, 2020

1<sup>er</sup>

## Prudence est mère de sûreté

Encore en cours d'évaluation, le robot doit encore faire ses preuves sur le plan clinique, comme le >>>

précise le P<sup>r</sup> NGuyen: «*Il faut rester prudent sur les bénéfices de la robotique. Certes, le robot facilite la gestuelle, supprime les tremblements, diminue la fatigue, la charge mentale et la concentration contrairement à quand on travaille sur le microscope. Cela tire aussi les jeunes chirurgiens vers des niveaux experts car le robot ne gomme pas l'expérience du chirurgien ni la gestion des situations difficiles, mais il gomme l'apprentissage de la dextérité et de la maîtrise des tremblements, que l'on met d'ordinaire un certain temps à acquérir. Sur le plan clinique, des études, qui vont débiter cette année, vont permettre d'étudier les bénéfices de l'implantation cochléaire.*»

### Évoluer en permanence

Dans un futur proche, les nouvelles modalités de traitement qui vont arriver en ORL (thérapie génique, chirurgie de l'oreille interne, etc.) vont pousser la plateforme robotique à évoluer avec elles. «*Chaque équipe qui s'équipe du robot est également impliquée dans des petits projets de recherche dans une optique de stimulation mais aussi pour enrichir le projet global, détaille l'expert ORL. Chaque équipe universitaire ayant sa particularité, chaque contribution permet d'améliorer l'ensemble du système.*»

La plateforme évolue en continu afin de pouvoir intégrer des instruments, des technologies et des données qui ne sont pas forcément disponibles aujourd'hui mais le seront demain. L'objectif est donc de continuer à faire mieux que la main humaine sur toute chirurgie et de développer et adapter toujours plus d'instruments.



### L'enjeu de la navigation

De fait, pour l'instant, le robot n'est pas couplé avec un système de navigation chirurgicale. Le chantier, en cours, est riche de promesses en matière de précision et de planification chirurgicale. «*Doté de capteurs de force pour les éléments très fragiles de l'oreille, le robot pourra sentir des éléments imperceptibles, ce qui réduira encore l'invasivité, prévoit le P<sup>r</sup> NGuyen. Quant au monitoring de l'audition, le chirurgien est dans la boucle via l'interface, mais il y a plusieurs centaines de millisecondes avant qu'il ne reçoive l'information. En couplant tout cela, le temps de réaction sera grandement diminué.*» Par ailleurs, la navigation

pourra permettre d'élargir les indications de la chirurgie robotique non seulement à toutes les opérations otologiques, mais aussi à d'autres spécialités, comme la chirurgie des sinus, l'ophtalmologie, la chirurgie des extrémités ou même la neurochirurgie.

Enfin, un autre point sera d'apporter l'intelligence artificielle dans l'interprétation des images et la collecte des données: «*Étant donné le nombre limité de patients, on ne se dirige pas, en ORL, vers du big data, pointe le P<sup>r</sup> NGuyen. Mais cela sera forcément utile pour automatiser et planifier certains gestes, et pour former les chirurgiens. Et pourquoi pas faire que certaines étapes de procédure soient réalisées dans un monde virtuel.*»

## LA ROBOTIQUE CHIRURGICALE OUVRE UN VASTE CHAMP DES POSSIBLES EN ORTHOPÉDIE

En chirurgie orthopédique, le recours à la robotique reste encore limité à un nombre relativement restreint d'indications, c'est-à-dire la pose de certaines prothèses et la visée pédiculaire dans la chirurgie du rachis. Néanmoins, les bénéfices – avérés comme attendus – offerts par cette nouvelle technologie ouvrent de belles perspectives.

Tandis qu'en chirurgie générale, l'objectif premier du recours à l'outil robotique est la recherche du mini-invasif, « *l'enjeu est différent en chirurgie orthopédique, pose d'emblée le D<sup>r</sup> Jean-Claude Couffinhal, chirurgien thoracique et vasculaire au Centre hospitalier Victor Dupouy d'Argenteuil (95) et membre du Conseil d'administration de l'Académie nationale de chirurgie (ANC), dont il est par ailleurs responsable de la robotique chirurgicale et de la formation. Dans cette spécialité, on recherche avant tout la qualité du positionnement de la prothèse. Le robot va donc aider à faire en sorte que l'on suive et que l'on réalise parfaitement la planification de la procédure prévue* ».

Et de fait, diverses études ont révélé que « *la plupart des problèmes de longévité des prothèses serait liée à des anomalies de positionnement qui peuvent survenir avec les méthodes traditionnelles, poursuit le D<sup>r</sup> Couffinhal. L'utilisation de la robotique avec planification permet de corriger cela, l'approximation y étant vraiment minime* ».

### Gagner en précision et en fluidité

Et pour cause : le robot orthopédique, spécifiquement pensé pour la spécialité, est « *un outil de précision et une aide qui vient en complément du*

### Une transformation des parcours de soins

Les nouvelles technologies entraînent de nombreuses modifications dans les pratiques et les parcours de soins, notamment grâce à la planification, la navigation, la chirurgie robot-assistée et le suivi à distance. *Pour en savoir plus, consulter le livret « Innovation en orthopédie » du Snitem*

*geste humain et chirurgical, explique pour sa part le D<sup>r</sup> Gérard Giordano, chirurgien orthopédiste et traumatologue à l'Hôpital Joseph Ducuing à Toulouse. Il n'y a pas d'automatisation des gestes, contrairement à ce que certains – dont des patients – ont pu ou peuvent encore craindre* ».

En effet, la robotique chirurgicale en orthopédie est une chirurgie robot-assistée, dont le bras robotisé apporte un complément d'ancillaires pour le chirurgien. Une procédure, propre à chaque patient, est planifiée en pré- ou en peropératoire selon la partie du corps, la pathologie à traiter et le >>>

# CHIRURGIE ROBOTIQUE EN ORTHOPÉDIE - INTRODUCTION

»»» dispositif utilisé. Chaque étape de l'exécution de la procédure est validée par le chirurgien, garantissant une grande précision.

« En chirurgie orthopédique, le robot est un outil de précision inter-intra-opérateur, poursuit le D<sup>r</sup> Giordano. Grâce au bras robotisé, on obtient en effet une précision de coupes qui permet de respecter la planification et de maîtriser la position des implants en deçà d'une marge de 1 millimètre et de 1 degré. »

## La navigation, élément crucial de la chirurgie robotique orthopédique

Outre le bras robotisé, les logiciels de navigation dont sont dotés les robots chirurgicaux orthopédiques apportent également une amélioration des procédures. En effet, la chirurgie assistée par ordinateur permet d'avoir des données en temps réel sur la morphologie des pièces osseuses articulaires, l'axe du membre, la balance ligamentaire, etc., pour mettre en place la prothèse, que ce soit pour la hanche, l'épaule ou le genou.

En outre, « en matière d'outils de navigation, il faut distinguer deux process : le mapping peropératoire (ou image less), et la planification réalisée avec imagerie (IRM ou scanner le plus souvent) en préopératoire », précise le D<sup>r</sup> Giordano, qui pratique les deux procédés en fonction de l'articulation qu'il opère.

## Impliquer les chirurgiens pour concevoir des outils qui répondent à leurs besoins

En orthopédie, le robot reste à l'heure actuelle un outil en voie de développement et ses applications sont encore restreintes à la chirurgie prothétique pour le genou et la hanche, et à la visée pédiculaire dans la chirurgie rachidienne.

Les problématiques étant en effet différentes selon les articulations, « les développements industriels des robots le sont également et c'est pourquoi il faut des référentiels », note le D<sup>r</sup> Giordano qui souligne par ailleurs l'importance de l'implication des chirurgiens dans la conception des outils robotiques : « Ces derniers sont encore trop souvent des outils d'ingénieurs que l'on essaie de faire rentrer au bloc, si bien qu'ils ne sont souvent pas pensés pour s'intégrer physiquement dans la salle d'opération mais également dans les process. C'était le cas pour la navigation de première génération qui était une véritable usine à gaz. Avec les évolutions dont elle a fait l'objet, c'est désormais un outil fait par des binômes ingénieurs-chirurgiens pour des chirurgiens. Gageons que les robots chirurgicaux suivront la même progression. » D'autant qu'impliquer les chirurgiens est également essentiel pour remporter leur adhésion.

## Ne pas rater le train de l'innovation

Car certains praticiens font encore preuve, si ce n'est de résistance, de scepticisme à l'égard de l'outil robotique. Et si cela peut s'entendre eu égard à son caractère récent (et donc au manque de recul et de données sur ses bénéfices réels), la robotique chirurgicale offre néanmoins de belles perspectives. « Il y a toujours eu de fausses innovations en orthopédie, mais il y en a d'autres qu'il ne faut pas rater, prévient le D<sup>r</sup> Giordano. En matière d'amélioration des pratiques, il faut penser à la fois gain chirurgical et bénéfice patient sur trois volets : stratégique, technologique et technique. Si l'innovation apporte une plus-value sur ces trois volets, alors il faut en prendre le train ! Et c'est sans aucun doute le cas de la chirurgie robotique. »

## CHIRURGIE ROBOTIQUE EN ORTHOPÉDIE SANS IMAGERIE

# EN QUÊTE DE L'ARTI- CULATION ORIGINELLE

Réduire l'invasivité du geste chirurgical tout en augmentant sa précision, sécuriser les procédures, améliorer les suites postopératoires: tels sont les principaux objectifs de la chirurgie robotique en orthopédie, dans le cadre de la pose de prothèse sans recours à l'imagerie.



### DE LA THÉORIE...

En chirurgie orthopédique, le dispositif robotique sans recours au scanner est utilisé pour la pose de prothèses de hanche et de genou, qu'elles soient totales ou partielles. En effet, il arrive que ces chirurgies prothétiques laissent persister d'importantes douleurs pouvant provenir de laxités postopératoires (relâchement ligamentaire notamment) et des instabilités prothétiques. «Au fil du temps, il arrive que

*des patients souffrent d'une prothèse trop serrée, trop raide ou d'une articulation qui ne répond pas aux attentes, avec une sensation d'instabilité et une perte de confiance»,* explique le D<sup>r</sup> Sophie Putman, chirurgien orthopédiste au CHRU de Lille. Or, en cas d'instabilité, la seule option est de réopérer pour une prothèse plus contrainte.

*«Avec les systèmes classiques, il peut y avoir une variation par rapport aux objectifs de la chirurgie, poursuit le D<sup>r</sup> Putman. Utilisé en peropératoire, >>>*

»» le système robotique permet de corriger cette marge d'imprécision: comme tout se décide pendant la chirurgie, cela permet de générer le modèle le plus adapté à la déformation de l'articulation du patient, de rester dans son morphotype natif et donc, d'éviter de générer des déformations.»

### À LA PRATIQUE

Les dispositifs robotiques intervenant en chirurgie orthopédique reposent sur le principe de bras ou de pièces à main robotisés qui guident un instrument pour réaliser des coupes osseuses – ou un guide de coupes – afin de fixer la prothèse.

Certains d'entre eux, dont il est question dans ce chapitre, ne nécessitent pas d'examen d'imagerie préalable. «*Tout se fait pendant l'intervention grâce au système de navigation dont est doté le robot*, détaille

le Dr Putman. Grâce à sa fonctionnalité de repérage dans l'espace, le robot se positionne et localise les axes du patient avant de générer un modèle de l'articulation sur lequel on travaille durant l'intervention.» Une fois le modèle réalisé, le dispositif intègre un système d'équilibrage ligamentaire qui va mesurer, sur l'amplitude de mouvement du genou, l'espace entre le fémur et le tibia dans la mobilité du genou, «*l'objectif étant de recréer des espaces symétriques pour la flexion / extension et en médial / latéral*», précise la chirurgienne.

Là où, traditionnellement, le chirurgien prend ses décisions de manière manuelle et sensitive, le robot chirurgical est doté d'un système de balance qui conçoit les espaces réels existants dans l'articulation. «*Après cela, le système bascule sur un logiciel qui intègre la taille de la prothèse et permet de choisir le positionnement idéal en intégrant l'équilibre des ligaments*», poursuit le Dr Putman. Comme dans toute chirurgie robotique, le chirurgien valide et contrôle toutes les étapes. Il garde également la main sur le système, qui se positionne pour aider le chirurgien à réaliser les coupes avec une grande précision.

Le système informatique du dispositif permet de visualiser *a posteriori* que le résultat obtenu est conforme aux attentes par rapport à la déformation initiale de l'articulation.

### UNE HISTOIRE D'INNOVATION

La toute première chirurgie robotique en orthopédie eut lieu en 1983 au Canada. Puis, au début des années 1990, un nouveau dispositif, autonome et dédié à

## La robotique chirurgicale, vecteur de changement pour les établissements

Technologie de pointe, la robotique chirurgicale est également un élément de l'accompagnement des établissements de santé dans leurs projets de transformation et d'innovation. Elle représente aussi un levier de fidélisation des équipes et d'attractivité, notamment auprès des jeunes professionnels de santé en ce qu'elle fait partie intégrante de la formation et de la montée en compétences et qu'elle sécurise les procédures chirurgicales.

la pose de prothèses de hanche, fit son apparition. Cette décennie vit en effet l'arrivée de robots spécifiquement pensés pour un usage médical, et notamment orthopédique. Cependant, cette «*machine-outil complètement autonome de fraisage et de mise en place d'implants articulaires*» fut abandonnée au profit de «*solutions moins contraignantes où le geste reste effectué par l'opérateur s'il juge la sécurité du patient garantie*» («*La robotisation en chirurgie – État des lieux*», Rapport de l'Académie nationale de chirurgie, 2020). C'est ainsi qu'à partir des années 2000, l'éventail de dispositifs robotiques dédiés à



# 1983

Première chirurgie orthopédique au Canada

Début des années

# 1990

Apparition d'un dispositif autonome et dédié à la pose de prothèses de hanche

À partir des années

# 2000

Élargissement de l'éventail de dispositifs robotiques dédiés à la chirurgie orthopédique

Fin des années Début des années

# 2010-2020

Développement du recours à la chirurgie robotique en orthopédie



la chirurgie orthopédique s'élargit, profitant des progrès réalisés dans les domaines de l'imagerie, de l'informatique et de la navigation.

« En France, le recours à la chirurgie robotique en orthopédie s'est vraiment développé depuis quatre à cinq ans grâce à la diversification des systèmes et après de nécessaires phases d'essais », corrobore le Dr Putman.

## Récupération accélérée et améliorée

Et si, comme le souligne la spécialiste, « nous manquons encore d'études à long terme », les avantages *a priori* offerts par la chirurgie robotique en orthopédie semblent bénéficier aussi bien aux patients qu'aux professionnels, voire au système de santé dans son ensemble. Pour les patients, en effet, les chirurgies par robot sont plus conservatrices et semblent diminuer les douleurs et les raideurs postopératoires. La mobilisation et la marche sont plus rapides. Les patients peuvent ainsi bénéficier de programmes de récupération améliorée après chirurgie (RAAC), si bien que la durée moyenne >>>

# 176 287

## Chiffre clé

C'est le nombre de patients qui ont subi une arthroplastie de la hanche en 2022 (tout type de chirurgie confondu).

Source : Données de l'ATIH 2022

»» de séjour hospitalier peut être réduite et que les patients peuvent plus rapidement reprendre leurs activités. « Avec le gain de précision, l'amélioration du ressenti et de la qualité de vie des patients est l'un des principaux objectifs de la chirurgie robotique, souligne le D<sup>r</sup> Putman. Cela semble être le cas mais nous manquons de recul et ne bénéficions pas, pour l'instant, d'évaluations à distance auprès des patients. »

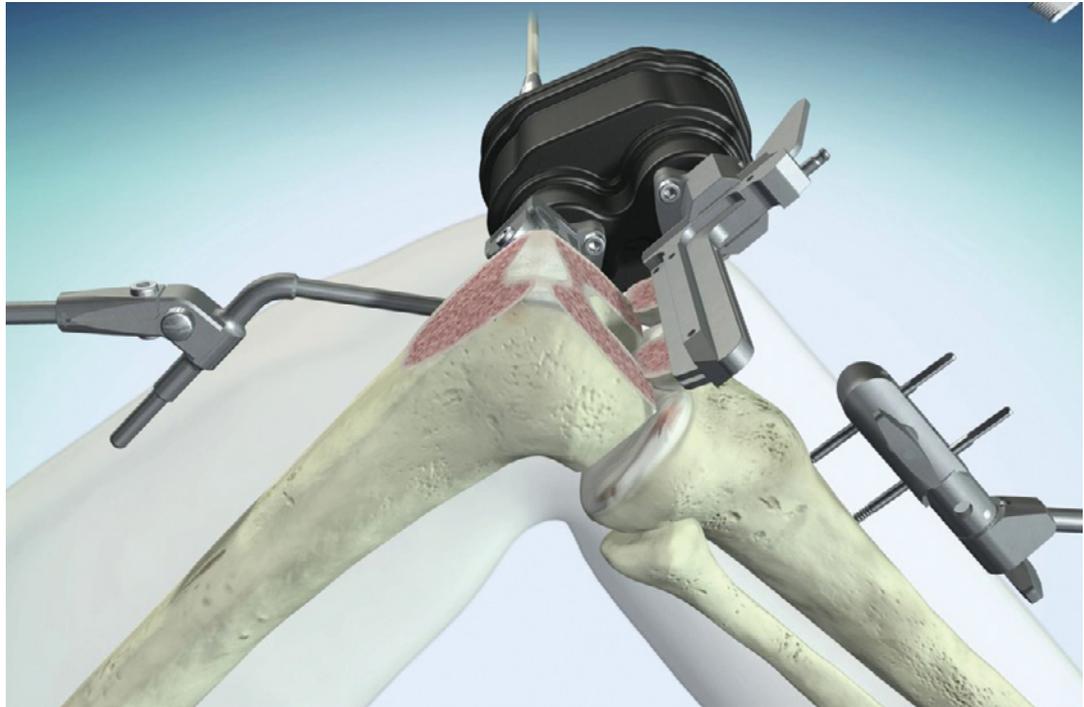
### Un geste chirurgical optimisé

Du côté des chirurgiens, le gain de précision dans les coupes osseuses est en revanche avéré. « Il n'y a cependant pas nécessairement de gain de temps, explique le D<sup>r</sup> Putman. Comme il n'y a pas de planification préopératoire et que tout est décidé au cours de la chirurgie, le temps d'intervention est patient-dépendant, et peut être allongé si le cas est plus complexe que ce à quoi l'on s'attendait. Mais de toute façon, gagner du temps n'est pas forcément ce que l'on recherche : la précision du geste est bien plus importante. »

Par ailleurs, la miniaturisation des robots chirurgicaux menée par les industriels du secteur les rendent désormais moins encombrants, facilitant l'organisation des blocs opératoires.

### Améliorer encore la chirurgie du genou

En termes d'évolutions, et alors que la hanche est une articulation très mature, la proportion de patients non satisfaits après une chirurgie du genou



reste importante, avec des problématiques d'instabilité et d'alignement qui, bien que réduites ces dernières années, persistent malgré tout.

Les industriels du secteur travaillent donc à améliorer encore l'équilibrage ligamentaire dans l'objectif de retrouver la cinématique du genou originel. Un autre challenge porte sur l'élargissement des indications de la chirurgie robotique en orthopédie, pour l'instant réservée aux premières intentions. Une amélioration que pourrait bien apporter l'intelligence artificielle selon le D<sup>r</sup> Putman : « Intégrer de

l'IA permettrait d'améliorer la performance des planifications pour lesquelles, pour l'instant, le chirurgien a encore beaucoup des réglages à faire. Avec l'IA, on pourrait optimiser la performance en termes de choix et, ainsi, étendre le recours au robot chirurgical à des chirurgies plus complexes et à des reprises de prothèses. » Un défi d'autant plus essentiel à relever face aux problématiques de vieillissement de la population auxquelles nos sociétés doivent faire face.

## CHIRURGIE ROBOTIQUE EN ORTHOPÉDIE AVEC IMAGERIE

# VERS UNE CHIRURGIE TOUJOURS PLUS PERSON- NALISÉE

En orthopédie, la chirurgie robotique permet de guider de manière très précise le geste du chirurgien. Et l'arrivée de l'imagerie préopératoire a encore amélioré la pose de prothèses de membres inférieurs.



### DE LA THÉORIE...

En orthopédie avec imagerie, le robot est utilisé pour une pose de prothèse dans le cadre d'une arthrose de genou partielle ou totale, et pour une pose de prothèse dans le cadre d'une arthrose de hanche. L'objectif est de gagner en précision et en personnalisation. Grâce à l'imagerie préopératoire, le chirurgien peut visualiser l'articulation du patient et choisir la meilleure stratégie chirurgicale.

### À LA PRATIQUE

Avant l'intervention, un examen d'imagerie est réalisé afin de construire un jumeau numérique en 3D de l'articulation du patient. À partir de ce jumeau, le chirurgien établit une planification, laquelle est exécutée au cours de l'intervention à l'aide du bras robotisé semi-autonome. Le chirurgien conserve le contrôle sur ce dernier en permanence.

Le robot est doté d'un système informatique, d'un écran, d'une caméra infrarouge et d'une instrumentation robotisée stérile.

Une fois les ajustements effectués, le robot réalise les coupes osseuses guidé par le chirurgien et selon le modèle 3D personnalisé du patient. Un système d'alerte permet au chirurgien d'être prévenu dès que l'outil de coupe dépasse la zone de limite virtuelle, lui permettant de ne couper que ce qu'il a planifié.

### UNE HISTOIRE D'INNOVATION

Apparue entre la fin des années 2000 aux États-Unis et le début des années 2010 en Europe, la première génération de ce type de dispositifs offrit aussitôt une optimisation de l'implantation des prothèses de genou et de hanche, tant pour le chirurgien que pour le patient. Depuis, des mises à jour régulières (environ tous les deux ans) ont permis d'améliorer les logiciels et d'intégrer de nouvelles propriétés. >>>

### La révolution de l'imagerie préopératoire

Parmi celles-ci, l'arrivée de l'imagerie il y a quelques années représente sans aucun doute la plus importante amélioration, comme l'explique le Pr Sébastien Lustig, chef du service de chirurgie orthopédique et médecine du sport de l'Hôpital de la Croix-Rousse, à Lyon: « Grâce à l'imagerie 3D préopératoire, on peut créer un jumeau numérique du patient très précis. Pendant l'opération, on ajoute un élément dynamique pour comprendre les spécificités de chaque patient, offrant une véritable chirurgie personnalisée. » Et cette grande précision de l'anatomie du patient octroie un parfait contrôle du geste de coupe, lequel est beaucoup moins invasif sur les tissus qui entourent l'articulation. « C'est une ère nouvelle où la phase préopératoire prend un peu

plus d'importance et permet au chirurgien d'être encore plus pointu, poursuit le Pr Lustig. Il a moins besoin d'aide notamment pour écarter les tissus et cela lui offre une sécurité d'esprit. Cela apporte une précision du geste, c'est beaucoup moins invasif, on peut travailler dans les zones peu voire pas accessibles et les suites opératoires sont un peu plus rapides. »

### Un objectif : augmenter le bénéfice patient

« L'objectif principal de cet outil est de simplifier les procédures difficiles et fortement instrumentées tout en les rendant moins invasives et plus précises », résume le Pr Lustig. Et de fait, diverses publications scientifiques ont démontré l'amélioration en termes d'exactitude de la pose de l'implant. La douleur étant l'un des principaux maux après une telle chirurgie, des essais randomisés ont également révélé moins de sensations de douleur, moins de prescriptions d'opioïdes, et une récupération plus rapide.

« Grâce à cet outil très précis, on sait ce que l'on fait et on enregistre au degré près, détaille le chirurgien. Associé à un suivi étroit des patients, on peut corrélérer de façon très précise la décision opératoire et le résultat obtenu. Le numérique en santé et le big data nous permettront d'ailleurs, dans un futur proche, de connaître le meilleur réglage possible pour chaque patient. » Ce qui reposait ainsi sur la seule expertise du chirurgien sera ainsi corroboré et/ou perfectionné sur la base de données récoltées afin d'avoir la meilleure trajectoire possible. « Les outils d'IA vont permettre d'optimiser la pose de prothèse et d'avoir les informations



utiles et l'expertise pour améliorer le geste et la prise de décision, sans que cela remette en question le caractère indispensable du chirurgien, comme pour le choix de l'abord, par exemple », prévoit le Pr Lustig.

### Le chirurgien au cœur du process

De fait, il faudra toujours la main et la tête du chirurgien car c'est bien lui qui coupe et opère. Celui-ci suit d'ailleurs une formation obligatoire auprès de chirurgiens experts pour se familiariser avec le système avant sa première chirurgie. Après l'échec relatif du robot autonome, son retour n'est ni envisagé ni recherché du côté des industriels. Ceux-ci travaillent en revanche à améliorer sans cesse le dispositif et à le décliner pour les autres articulations.

#### Chiffre clé

# 127 384

C'est le nombre de patients qui ont subi une arthroplastie du genou en 2022 (tout type de chirurgie confondu).

Source : Données de l'ATIH 2022

## REPOUSSER LES LIMITES CHIRURGICALES

En neurochirurgie, le robot est apparu dès les années 1980. Pourtant, la phase des pionniers inhérente à toute innovation a été particulièrement longue dans cette spécialité. Aujourd'hui, la chirurgie robotique tend à devenir incontournable en chirurgie rachidienne et pour certaines pathologies cérébrales.

Toute technologie doit arriver au bon moment et a besoin de temps pour être acceptée, deux critères essentiels pour son essor. La robotique neurochirurgicale est un parfait exemple de cette indispensable conjoncture. Intimement liée à l'imagerie médicale sans laquelle il n'est pas de neurochirurgie possible, elle a en effet dépendu des progrès réalisés dans ce secteur et de leur large diffusion. À cela s'ajoute la phase d'acceptation que connaît toute innovation. Comme dans les autres spécialités médicales, il a fallu que les professionnels de santé soient prêts à faire confiance à l'assistance du robot. Et en neurochirurgie, cette période d'installation a été relativement longue, ce qui peut s'expliquer en partie par le champ de la spécialité. La prise en charge chirurgicale des troubles du système nerveux requiert en effet une extrême précision.

### Pour des interventions périlleuses

Aujourd'hui, l'adhésion de la communauté neurochirurgicale n'est plus un sujet. En chirurgie rachidienne, les robots permettent de couvrir les champs lombaire, thoracique et sacral, le champ cervical n'étant pas encore revendiqué réglementairement. De fait, les chirurgies cervicales, y compris sans robot, restent très rares, leurs risques étant trop importants. Les experts du secteur ne doutent pas cependant que le robot pourrait permettre à l'avenir de réaliser ces interventions périlleuses, comme dans la chirurgie du cerveau.

Un exemple dans ce domaine est la stéréo-électroencéphalographie (SEEG) pour l'épilepsie. Cette chirurgie diagnostique permet en effet de localiser les foyers épileptogènes pour savoir s'il est possible de les retirer. Grâce au robot, la pose des électrodes temporaires nécessaires à cette exploration se fait de manière totalement mini-invasive, évitant la craniotomie. Inventée en France, cette technique y est d'ailleurs devenue le *gold standard* pour cette pathologie. Le recours au robot est également bien implanté pour la stimulation cérébrale profonde (DBS) dans le traitement des symptômes de la maladie de Parkinson.

### Un écosystème pour aider à la prise en charge globale

Le robot couvrant de plus en plus de pathologies neurologiques, l'objectif des industriels du secteur est désormais d'offrir tout un écosystème autour du dispositif, comme des logiciels permettant de planifier l'intervention en préopératoire. Le chirurgien garde la main sur cet outil d'aide à la décision. Dans un futur proche, des outils logiciels vont venir analyser en postopératoire les données récoltées lors des interventions pour en faire bénéficier les chirurgies à venir. À cela s'ajoutent les données récoltées auprès des patients en pré- et en peropératoire. Autant de ressources venant améliorer la prise en charge globale des patients.

# DES PROGRÈS RÉELS ET UNE ÉVOLUTION CONTINUE

Bien que le robot chirurgical fit son apparition il y a plus de quarante ans en neurochirurgie, son déploiement y fut tardif. La raison ? La chirurgie du rachis requiert une extrême délicatesse et une grande précision. Pour autant, la robotique chirurgicale y a depuis fait ses preuves... et des émules.



### DE LA THÉORIE...

En chirurgie du rachis, « on peut recourir à la robotique pour toutes les pathologies qui nécessitent une visée pédiculaire », explique le D<sup>r</sup> Paolo Mangione, chirurgien de la colonne vertébrale au Centre aquitain du dos à Mérignac. Elle présente un intérêt majeur pour la chirurgie mini-invasive mais peut également être intéressante pour la scoliose et les montages longs, et la traumatologie. »

« Le robot est en effet sollicité dans la chirurgie d'arthrodèse pour des stabilisations de la colonne où l'on doit placer des implants et modifier l'alignement de la colonne », complète le P<sup>r</sup> Richard Assaker, neurochirurgien spécialisé dans le rachis au CHRU de Lille. En particulier, le robot apporte une véritable plus-value pour les situations anatomiques complexes (déformations, cas de chirurgies précédentes, etc.). « Il permet aussi de définir des trajectoires délicates,

par exemple pour créer un accès direct à une cible au niveau de la colonne », poursuit le P<sup>r</sup> Assaker. Mais si la chirurgie robotique peut se prêter à presque toutes les situations, « il incombe au chirurgien de faire les arbitrages entre la nécessité et le bénéfice réel qu'apporte cette technologie, particulièrement pour les cas standards », souligne le D<sup>r</sup> Mangione.

### À LA PRATIQUE

En chirurgie du rachis, le robot n'opère pas. Il joue le rôle « d'un assistant de positionnement et guide la visée pédiculaire », détaille le D<sup>r</sup> Mangione. Le placement des vis est planifié sur scanner puis l'assistant robotique positionne dans l'axe du pédicule un guide selon le plan défini par le chirurgien avant que celui-ci mette en place la / les vis. Ce guide assure une grande précision. » « Le chirurgien est responsable sur le plan stratégique comme technique, appuie le P<sup>r</sup> Assaker.

*Guide de placement, le robot va directement au but de manière précise et sécurisée. Le geste du chirurgien s'adapte à cette nouvelle technologie mais il en reste le maître d'œuvre.»*

L'intervention est planifiée et optimisée de manière virtuelle en amont de l'intervention, ce qui laisse de moins en moins de place aux aléas d'origine humaine, faisant ainsi entrer la chirurgie du rachis dans l'ère d'un parcours encore plus fluide et sécurisé. La planification est réalisée sur la base d'un scanner préopératoire. Des examens d'imagerie (de face et de profil) sont également réalisés en peropératoire afin de les fusionner avec les images préopératoires pour sécuriser la procédure.

## UNE HISTOIRE D'INNOVATION

La robotique en neurochirurgie n'est pas récente puisque les premières interventions remontent aux années 1980! Pourtant, sa diffusion a été beaucoup



moins rapide dans cette spécialité qu'en chirurgie générale. La raison? La neurochirurgie est une discipline qui nécessite notamment une extrême précision dans la trajectoire, une grande délicatesse dans le geste et la possibilité de traiter toutes les anatomies, y compris les plus complexes. Or, ces conditions n'ont pu être réunies que grâce à des évolutions technologiques concomitantes.

*«L'arrivée du robot en neurochirurgie s'intègre parfaitement dans l'histoire de notre spécialité: elle survient dans la foulée des travaux de Jean Dubousset sur le traitement de la scoliose par visée pédiculaire au cours des années 1980, relate le Dr Mangione. Cette nouvelle approche connut un grand succès, renforcé par le vif intérêt porté à la posture et l'équilibre entre la fin des années 1990 et le début des années 2000.»*

## La révolution de la chirurgie mini-invasive et de la navigation

À cette époque se développa également la chirurgie mini-invasive. Cette dernière profita à la chirurgie rachidienne, permettant de gagner en précision dans le délicat placement des vis tout en réduisant les incisions pour ce faire. C'est sur ce terrain favorable que le premier dispositif spécifiquement dédié à la spécialité apparut en 2004. *«L'histoire est donc ancienne mais les systèmes n'ont cessé d'être améliorés au fil du temps, bénéficiant des innovations réalisées en matière d'accès mais aussi de guidage par l'image et de navigation depuis environ cinq ans, analyse le Pr Assaker.*

## Vers un écosystème interconnecté

Certains industriels travaillent également à établir un écosystème interconnecté afin d'élever le niveau de prise en charge en chirurgie rachidienne et d'améliorer l'expérience du patient, de l'arrivée à l'hôpital au suivi postopératoire. L'objectif est de tendre vers une chirurgie de plus en plus digitalisée, personnalisée et augmentée notamment grâce à l'IA et à l'exploitation des données de santé.

*L'implémentation de ces technologies permet de se repérer dans l'espace chirurgical tout en étant le plus restreint possible en termes de dommages collatéraux.»*

*«Le couplage de la navigation et de la robotique a été une étape cruciale pour le positionnement des vis, confirme le Dr Mangione. Auparavant, celui-ci se faisait en effet individuellement, vis après vis, sans contrôle sur l'alignement global. Désormais, avec la planification robotique, on peut harmoniser et modifier le placement relatif car le montage est mieux réalisé conceptuellement. Et tout cela s'inscrit dans l'histoire de l'évolution de la chirurgie du rachis: on positionne les vis avec plus de précision (puisque conformément à la planification) et de façon moins invasive.»*

»»»

### Des bénéfices à long terme à démontrer

Il existe aujourd'hui plusieurs robots en chirurgie du rachis, tous reposant sur le principe du robot programmé. Et s'ils diffèrent par le degré de planification qu'ils proposent, tous offrent une optimisation du geste ainsi qu'une grande précision dans l'accès à la colonne, parfaitement sécurisé. Cette dernière génération de dispositifs « *est cliniquement robuste, permettant de faire confiance à la technologie* », constate le Pr Assaker.

Bien sûr, comme dans de nombreuses spécialités chirurgicales, l'usage de la robotique reste encore récent et l'on manque d'études randomisées complètes. Et si le caractère mini-invasif représente un bénéfice certain pour les patients sur les suites immédiates de la chirurgie, « *cela n'a pas été démontré à long terme et il est difficile d'étudier des résultats à deux ans, reconnaît le D<sup>r</sup> Mangione. Cependant, les premiers résultats dont nous disposons tendent à révéler une amélioration en termes de précision du geste et de qualité du montage. C'est également très favorable pour réaliser des chirurgies mini-invasives, y compris chez des patients obèses.* »

### Des améliorations imminentes

Concernant les perspectives, « *l'innovation porte notamment sur l'ergonomie du robot afin de le rendre encore plus petit, maniable, facile d'utilisation, et doté d'une interface encore plus intuitive. La dernière*



*génération de dispositifs va déjà en ce sens mais nous n'en sommes qu'au début*», relève le Pr Assaker qui pointe d'autres améliorations imminentes. « *En effet, le robot participe actuellement au placement des implants mais, bientôt, il servira également à faire des découpes, à réséquer des os et à avoir un signal d'alerte pour encore plus de sécurité.* »

« *On se dirige en outre vers une amélioration du temps opératoire et une fluidification technique, complète le D<sup>r</sup> Mangione. Les machines comme les chirurgiens vont progresser, d'autant que, dans les établissements où sera implanté le dispositif, les jeunes praticiens apprendront dès le début de leur carrière à opérer avec.* »

Années  
1980

Premières interventions  
en neurochirurgie  
Travaux de Jean Dubousset  
sur la visée pédiculaire

Fin des années Début des années  
1990-2000

Traitement des grandes  
déformations de l'adulte âgé,  
puis développement de la  
chirurgie mini-invasive

2004

Premier dispositif  
spécifiquement dédié  
à la neurochirurgie

## Lever les obstacles au déploiement de la technologie

Ce qui pose la question de l'implantation de la technologie dans les établissements de santé: « Au sein de la communauté des chirurgiens du rachis, sa valeur est admise mais il persiste une question de rentabilité médico-économique, expose le Pr Assaker. Elle reste en effet coûteuse pour une institution si bien que sa rentabilité dépend de la masse d'activité. Dans les CHU et les grands centres, la question est vite résolue car le besoin est réel et l'outil y est utilisé. En revanche, les structures dans lesquelles les chirurgiens pratiquent peu d'arthrodèses ne s'équipent pas, à juste titre. Comme pour toute innovation à ses débuts, l'adoption scientifique est là mais l'acquisition reste un problème... »

« On ne peut pas lutter contre le progrès et l'on peut penser que la robotique chirurgicale va devenir une procédure incontournable; mais à ce stade et en l'absence de données cliniques, il faut rester prudent et attendre l'évaluation des résultats des études cliniques comparatives dans les années à venir », conclut le Dr Mangione.

Fin des années  
1980

### Chiffre clé

C'est l'époque à laquelle la SCP (stimulation cérébrale profonde) a été mise au point et développée par l'équipe des professeurs Alim-Louis Benabid, neurochirurgien, et Pierre Pollak, neurologue, au CHU de Grenoble.

Source : Institut des neurosciences de Rennes

# AU SERVICE DE L'ORGANE LE PLUS COMPLEXE DU CORPS HUMAIN

Intervenant sur le système nerveux central pour guider l'instrument du neurochirurgien lors d'opérations sensibles du cerveau, le robot contribue à réduire tout à la fois la durée des interventions, l'invasivité, le risque d'infection et la période de récupération des patients.



### DE LA THÉORIE...

En neurochirurgie stéréotaxique et fonctionnelle, le dispositif est utilisé pour définir dans le cerveau des trajectoires préalables à l'implantation d'électrodes, réaliser des biopsies cérébrales ou encore opérer des tumeurs cérébrales. Le robot permet de soulager les symptômes de la maladie de Parkinson, la dystonie généralisée, le tremblement essentiel, les troubles obsessionnels compulsifs (TOC), le Syndrome de Gilles de la Tourette (SGT) ou les crises d'épilepsie.

### À LA PRATIQUE

Une imagerie réalisée en préopératoire permet de planifier l'intervention en amont, de réaliser un repérage par laser, cette technologie faisant la relation entre les données d'imagerie et le patient et, donc, de positionner l'instrumentation avec une grande exactitude.

Le chirurgien opère ensuite à l'aide du bras robotisé, programmé pour intervenir notamment dans des zones de sécurité définies préalablement afin

de préserver entre autres les vaisseaux sanguins du patient. Le robot agit comme un GPS, rendant le geste chirurgical extrêmement sécurisé et précis. Le chirurgien peut alors introduire son instrument dans le crâne pour implanter ou prélever ce dont il a besoin.

Tout au long de l'intervention, le chirurgien peut visualiser en temps réel ses instruments sur l'imagerie. Comme dans l'ensemble des spécialités médicales, le dispositif robotique n'agit jamais seul, demeurant sous le contrôle étroit du chirurgien : celui-ci dispose d'un retour de force qui lui permet de réaliser son geste opératoire de manière classique.

### Chiffre clé

# 272 500

C'est le nombre de personnes atteintes par la maladie de Parkinson en France. Chaque année, 25 000 nouveaux cas se déclarent.

Source : Ministère de la Santé et de la Prévention, 2023

## UNE HISTOIRE D'INNOVATION

En matière de neurochirurgie robotique, le CHU de Grenoble fait figure de pionnier. C'est en effet dans cet établissement que le Pr Alim-Louis Benabid commença, dès 1987, à travailler de concert avec des industriels au développement de bras robotisés chirurgicaux.

Cette année-là, la stimulation cérébrale profonde à haute fréquence (SHF) fut inventée pour réduire les symptômes de la maladie de Parkinson. Cette technique permet de diminuer les besoins en médicaments et d'améliorer considérablement les différents symptômes de la maladie. Auparavant, en effet, les électrodes étaient implantées dans le thalamus pour réduire les tremblements. Cette innovation permit de les installer dans le noyau sous-thalamique, donnant la possibilité d'agir à la fois sur la kinésie, la rigidité et le tremblement, les trois principaux symptômes de la pathologie.

Dès 1989, l'informatique fut ajoutée au dispositif robotique, favorisant une meilleure planification, une plus grande précision et une simplification dans l'exécution.

## Encore plus de précision et de confort pour le patient

Durant les deux décennies suivantes, le recours à la robotique en neurochirurgie resta cependant relativement confidentiel pour le traitement des pathologies cérébrales. Il fallut attendre le début des années 2010 pour que la discipline connaisse

un nouveau tournant, avec l'arrivée d'une nouvelle génération de dispositifs particulièrement sophistiqués. Ces derniers offrant notamment une précision accrue, leur usage se répandit rapidement, particulièrement pour les procédures stéréotaxiques. Outre un gain de temps pour la pose des électrodes, le dispositif améliore le confort du patient en l'affranchissant du cadre de stéréotaxie utilisé traditionnellement, tout en conservant sa précision.

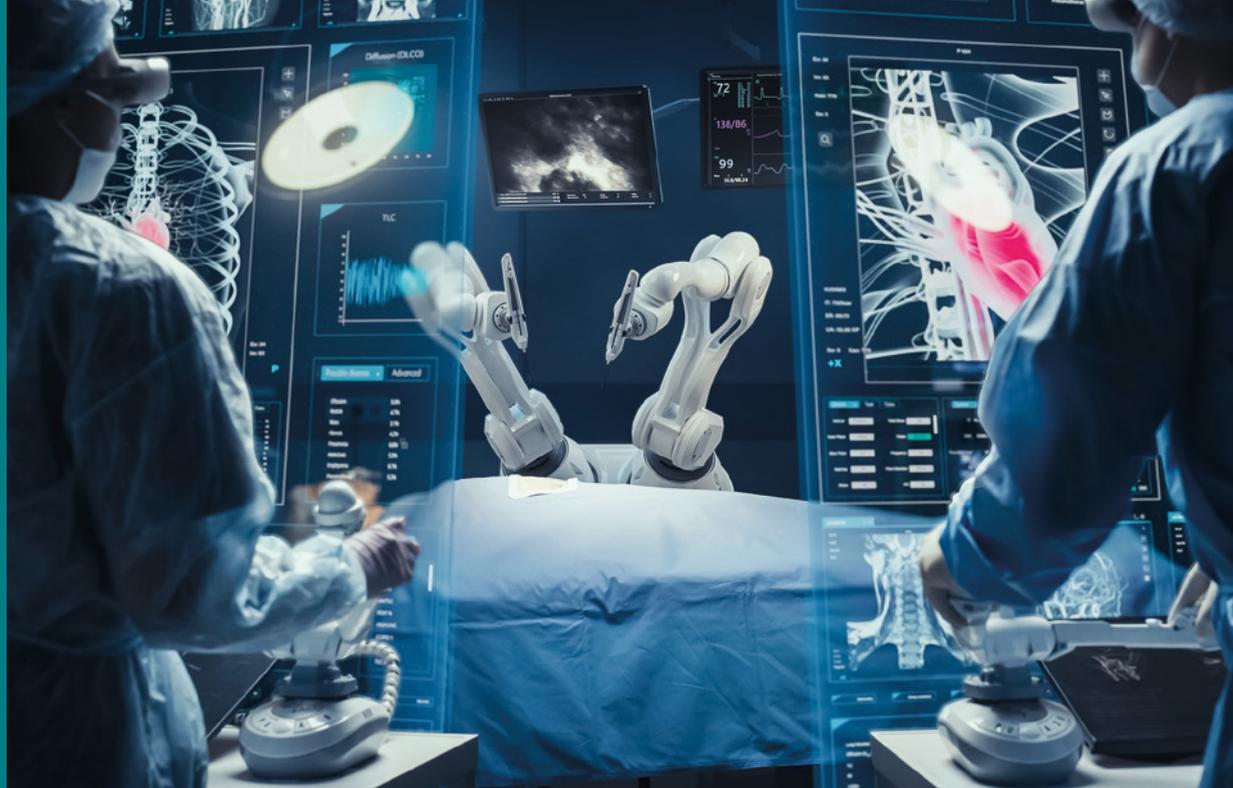
Dans le cadre du traitement de l'épilepsie par exemple, le robot permet de poser une électrode intracrânienne qui va identifier, lors d'une crise, les foyers épileptogènes. Le chirurgien va ensuite pouvoir, via l'électrode, enlever le foyer sans réaliser de gestes invasifs pour le patient, tels des trous dans la boîte crânienne. Un bénéfice immense pour les patients gravement atteints.



## PERSPECTIVES

# IA, DATA ET NUMÉRIQUE: UN ENJEU CRUCIAL DU SECTEUR

Comme dans tous les pans du secteur de la santé, les données et l'intelligence artificielle concentrent à la fois les préoccupations des professionnels et les efforts des industriels. En jeu ? Leur utilisation pour améliorer les procédures et les *workflows*, au profit d'une prise en charge des patients toujours plus personnalisée.



De manière générale, l'enregistrement des données durant les interventions rend possible la comparaison des procédures, notamment avec celles réalisées par des chirurgiens experts, et d'en identifier les axes d'amélioration, accélérant ainsi la courbe d'apprentissage. Les outils numériques permettent également l'intervention à distance d'un chirurgien expert au cours d'une chirurgie, la rendant encore plus sécurisée et optimisée. Une autre utilisation des données de santé collectées consistera à intégrer de l'intelligence artificielle dans les algorithmes de calcul pour faire des préconisations au chirurgien

en temps réel, sur la base de procédures réalisées par d'autres chirurgiens. Apporter cette information en temps réel au bloc opératoire permettrait de tendre vers le chirurgien augmenté.

### Un environnement connecté

Réciproquement, les données de santé collectées permettent d'aller vers le patient connecté. Plus encore, c'est tout un environnement qui, *via* la plateforme robotique, se retrouve interconnecté, comme le souligne le Dr Gérard Giordano, chirurgien

## Vers l'avènement de l'imagerie embarquée

L'imagerie embarquée est également en cours de généralisation. À part dans certains cas de chirurgie prothétique en orthopédie, l'examen d'imagerie est en effet, pour l'instant, réalisé en préopératoire. L'imagerie embarquée dans la robotique permettrait de voir un organe avec des marqueurs pour localiser et aider le chirurgien à avoir des gestes précis en superposant images et organes. Une perspective dont se réjouissent les professionnels de santé, à l'image du Dr Enrica Bentivegna, chirurgienne cancérologue en gynécologie à l'Hôpital européen Georges Pompidou (AP-HP), à Paris: «*Ce serait une vraie amélioration, particulièrement dans le cadre de résection de tumeurs*».

orthopédiste et traumatologue à l'Hôpital Joseph Ducuing à Toulouse: «*Le patient comme le chirurgien sont sources de données de santé, lesquelles permettent de faire évoluer les pratiques chirurgicales. L'outil robotique permet en effet de définir des profils et des sous-catégories de patients sur lesquels établir des procédures personnalisées à l'échelle de ces sous-populations. Mais s'il est important d'"algorithmiser" (et de valider) sa manière de faire, pour autant il ne faut pas exclure de la démarche les intuitions, l'expérience et l'adaptation en temps réel au cas par cas.*»

## Le chirurgien toujours responsable

En effet, l'acte chirurgical n'est pas anodin, comme le souligne le Pr Morgan Roupret, chirurgien urologue à la Pitié-Salpêtrière (AP-HP), à Paris: «*Il y a un rapport malade-médecin dans lequel le second rentre dans le corps de l'autre. Cela reste une intrusion. Pour cela, il ne faut pas négliger, derrière le prodige IA, la responsabilité individuelle du chirurgien: en pratique clinique, la chirurgie est grevée de complications. Le taux se réduit mais le risque zéro n'existe pas. Tout comme dans un avion, il faut un pilote, on ne saurait se substituer à l'artisan qu'est le chirurgien!*»

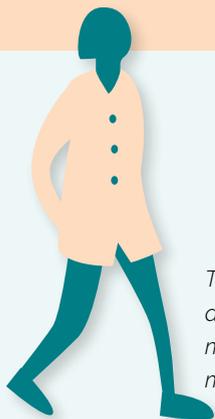
C'est donc l'écosystème du chirurgien qui est révolutionné mais sa réflexion reste au centre. «*Il faut combiner les innovations, complète le Dr Giordano. Le robot, comme l'IA, n'est qu'une partie d'un ensemble, derrière lequel se trouve l'humain qui monitore et qui valide. Néanmoins, il faut intégrer ce changement de paradigme au bloc, chez les industriels et*



*à la fabrication: on peut utiliser autrement les robots mais il faut mieux intégrer les chirurgiens parce qu'ils ont beaucoup à apporter. Le regard et l'esprit humain sont essentiels car ils peuvent pointer des biais de l'algorithme informatique et, ainsi, permettre de les dépasser.*»

# « Mon chirurgien a été mon sauveur »

## LE REGARD DU PATIENT



Après trois décennies de souffrances physiques et psychologiques due à une grave discopathie\*, Madeleine a été opérée de la colonne vertébrale par voie robot-assistée en septembre 2023. Une délivrance.

*Tout a commencé en 1992, à l'âge de vingt-deux ans, par un pincement discal. Au fil du temps, la maladie a attaqué le cartilage, provoquant des crises de sciatiques et conduisant au déplacement d'une vertèbre qui menaçait de glisser. En 2007, la discopathie était passée au stade 2 et j'ai alors entamé une reconversion pour devenir assistante maternelle, ce qui m'a bien aidée... Au départ, en tout cas.*

*Puis, la situation s'est compliquée. En 2017, la maladie était devenue sévère et, trois ans plus tard, elle s'accompagnait d'un pincement discal pratiquement complet. À partir de ce stade, j'ai dû porter une ceinture lombaire en permanence. J'ai ensuite reçu des injections d'anti-inflammatoires. Lorsque j'étais au repos, cela restait supportable, mais dès que je travaillais, c'était catastrophique. Il y a deux ans, j'ai donc réduit mon activité de garde à deux enfants, quatre jours par semaine. Le cinquième*

*jour, j'étais en hôpital de jour avec au programme séances de kiné, balnéothérapie et activité physique adaptée.*

*Mais la douleur revenait, toujours pire. Le moindre mouvement, la moindre aspérité sur le sol provoquaient une douleur comparable à un coup de couteau. Rester debout sur mes deux jambes était devenu impossible et je devais surélever ma jambe gauche et prendre appui sur la droite. Face à cette dégradation, j'ai consulté un chirurgien là où je vis, en Charentes, qui a envisagé une infiltration sous anesthésie. J'ai cependant demandé un second avis au Centre aquitain du dos, et le chirurgien que j'y ai rencontré a décidé d'opérer. Rien que cette annonce m'a soulagée ! C'était une libération au regard de la douleur, physique et psychologique, que j'endurais depuis tant d'années.*

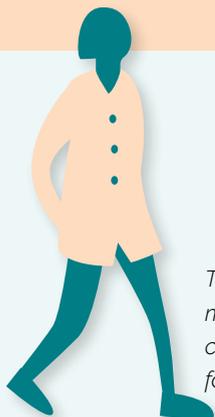
*Début septembre 2023, j'ai donc bénéficié d'une intervention robot-assistée, ayant été tirée au sort parmi les personnes qui pouvaient y prétendre.*

*Cependant, avant l'intervention, je n'ai pas voulu savoir en quoi elle allait consister et je m'en suis totalement remise à mon chirurgien : seul comptait pour moi d'aller mieux. Dès le lendemain de l'opération, j'étais autonome physiquement et deux jours après l'intervention, j'étais sortie de l'hôpital. Quelques semaines plus tard, j'étais encore très fatiguée mais, en termes de douleurs, c'était incomparable. Bien sûr, quelques douleurs ont persisté dans la fesse, très certainement liées aux suites de l'opération mais, après des décennies de souffrances, je ne vois que les améliorations physiques comme psychologiques : ma sciatique a pratiquement disparu, la marche est beaucoup moins pénible et je suis libérée de l'angoisse perpétuelle d'un glissement vertébral.*

*Certains gestes sont encore compliqués ; c'est normal, il faut du temps, mais cela s'améliore de semaine en semaine. Les bénéfices sont énormes et je n'ai aucun regret. Je le dis (et lui ai dit !!) : mon chirurgien a été mon sauveur.*

# « Sans elle, je serais restée avec mes lésions et mes douleurs »

## LE REGARD DU PATIENT



Margaux a trente-deux ans et vit dans le Tarn-et-Garonne. Assistante vétérinaire, elle a dû cesser son activité en décembre 2022 à cause d'une grave endométriose, aujourd'hui contenue grâce à une chirurgie robotique.

*Tout a commencé lors d'une visite à ma sage-femme pour un frottis de contrôle, en novembre 2021. Je lui ai fait part des douleurs que j'avais lors des rapports et des règles.*

*J'avais vécu ainsi pendant de longues années. Mais en 2021, la dyspareunie s'est vraiment accentuée, accompagnée de gros troubles du transit, avec des crises qui se produisaient sans crier gare.*

*Ma sage-femme a évoqué pour la première fois l'endométriose, prescrivant une IRM et m'orientant vers un spécialiste à Toulouse. L'examen d'imagerie révélant une petite hypertrophie et de possibles petits endométriomes ovariens, le médecin m'a prescrit en avril 2022 un traitement hormonal pour cinq mois. Au début, les crises s'éspacient, mais au bout du troisième mois, tout est revenu : les problèmes digestifs et de transit, les douleurs dans l'aîne et à l'évacuation des selles, une fatigue chronique... tout cela impactant très fortement ma vie personnelle et professionnelle.*

*Quand j'ai revu le médecin, il lui a été très difficile de m'ausculter en raison des douleurs pelviennes. Il avait alors assez d'arguments en faveur d'une endométriose et a programmé une coelioscopie exploratrice pour stadifier la maladie et essayer de la contrôler. Mais la maladie avait beaucoup évolué depuis l'IRM. Et même si le chirurgien avait retiré de nombreuses lésions, il en restait deux principales au niveau du rectum et de l'uretère gauche, qu'il jugeait trop délicates de retirer sous coelioscopie, sauf à risquer une stomie.*

*Six semaines plus tard, il me proposait une intervention robot-assistée. J'ai été opérée en juin 2023 pour une résection de la lésion rectale. La chirurgie robotique m'a permis d'échapper à la stomie, de déboucher l'uretère sténosée et de poser une sonde JJ. Sans le robot, certaines zones auraient pu être touchées de façon irréversible et j'aurais certainement eu des complications. Et si l'intervention et l'hospitalisation ont été plus longues, je les ai beaucoup mieux vécues !*

*En effet, j'ai bien mieux récupéré. Après la coelioscopie, j'avais vraiment eu l'impression d'avoir les organes broyés et mon compagnon devait m'aider pour tout. Après la chirurgie robotique, j'ai eu beaucoup moins de douleurs et j'ai retrouvé plus rapidement mon autonomie. Depuis, on m'a retiré la sonde JJ et j'ai repris l'hormonothérapie jusqu'à un éventuel désir de grossesse.*

*Aujourd'hui, je remercie vraiment mon chirurgien d'avoir opéré en deux fois, avec un recours au robot pour la seconde intervention. Sans cela, peut-être que j'aurais une poche ou que j'aurais dû garder la sonde plus longtemps. Et surtout, je serais restée avec ce diagnostic de « petite endométriose probable », mes lésions et mes douleurs, le kiné, l'ostéopathe et tout ce que l'on met en place pour essayer de les soulager mais qui n'apportent qu'un bénéfice réduit...*

*Pour tout cela, l'innovation est essentielle pour les patients : elle est vraiment à leur service et à leur bénéfice.*

## A

### Ancillaire (ici)

Instrument chirurgical destiné à aider le chirurgien, notamment en chirurgie orthopédique.

### Arthrodèse

Intervention chirurgicale consistant à bloquer définitivement une articulation par fusion osseuse afin de la rendre indolore et stable.

## B

### Bypass (gastrique)

Intervention chirurgicale consistant à modifier le trajet des aliments en évitant une partie de l'estomac et le haut de l'intestin grêle, dans le traitement des obésités majeures.

## C

### Cochléaire

Relatif à la cochlée, la partie de l'oreille interne où se trouve l'organe récepteur de l'audition.

### Cholécystectomie

Ablation chirurgicale de la vésicule biliaire.

### Coelioscopie

Examen de la cavité abdominale à l'aide d'un tube muni d'un éclairage, d'un système optique et parfois d'une caméra ou d'une pince, et introduit par les voies naturelles ou par une petite incision (endoscopie).

### Colectomie

Ablation chirurgicale du côlon ou de l'un de ses segments.

## E

### Embolisation

Intervention consistant à obstruer un vaisseau sanguin qui nourrit une tumeur ou qui est à l'origine d'un saignement.

### Endomètre

Muqueuse tapissant la face interne de l'utérus; et partie de l'utérus où se déroule la grossesse.

## F

### Fibrome

Tumeur bénigne développée à partir du muscle de l'utérus.

### Fluorescence (ici)

Luminescence instantanée produite par l'excitation d'une substance par une lumière ultraviolette.

### Fundoplicature

Traitement chirurgical du reflux gastro-œsophagien acide, réalisé sous coelioscopie.

## G

### Gastrectomie

Résection totale ou partielle de l'estomac.

## H

### Hépatectomie

Intervention chirurgicale consistant en l'ablation totale ou partielle du foie.

## L

### Laparoscopie

Examen endoscopique à visée diagnostique permettant une exploration visuelle directe de la cavité péritonéale ou du petit bassin et, éventuellement, la pratique de biopsies à ventre fermé.

### Laparotomie

Ouverture chirurgicale de la paroi abdominale utilisée pour le diagnostic et/ou le traitement des affections des viscères abdomino-pelviens.

### Laxité

Souplesse excessive d'un tissu ou d'une articulation.

### Lobe

Section des poumons ; le poumon droit possède trois lobes, le gauche, deux.

### Lobectomie

Ablation chirurgicale du lobe d'un organe, ici le poumon.

## M

### Mapping

Acquisition de points ou de surfaces de référence.

**Médiastin**

Région située entre les deux poumons, qui s'étend vers l'avant du sternum à la colonne vertébrale en arrière, et en bas jusqu'au diaphragme.

**N****Néoadjuvant (traitement)**

Traitement qui précède le traitement principal, le plus souvent dans le but de réduire la taille d'une tumeur avant un chirurgie ou une radiothérapie par exemple, afin de les faciliter.

**O****Otospongiose**

Aussi appelée otosclérose, maladie héréditaire de l'oreille moyenne, d'évolution progressive et entraînant une surdité.

**P****Prolapsus**

Chute d'un organe, d'une partie d'organe ou d'un tissu par suite du relâchement de ses moyens de fixation.

**Prostatectomie**

Ablation chirurgicale partielle ou totale de la glande prostatique.

**S****Splénectomie**

Ablation chirurgicale partielle ou totale de la rate.

**Stéréotaxie**

Technique d'imagerie permettant de repérer dans l'espace les structures anatomiques intracérébrales.

**T****Thoracotomie**

Ouverture chirurgicale du thorax.

**Trocart**

Instrument chirurgical à pointe acérée, utilisé pour réaliser une ponction ou pour introduire des instruments d'endoscopie.

## RAPPORTS ET DOCUMENTS

« La robotisation en chirurgie - État des lieux », Rapport de l'Académie nationale de chirurgie, juillet 2020

J. Hubert, P. Vouhe, D. Poitout, « Formation des chirurgiens / des équipes chirurgicales à la chirurgie robot-assistée. État de la situation actuelle. Propositions d'améliorations », Bulletin de l'Académie nationale de médecine, 206, 2022  
« Robotique chirurgicale en pédiatrie - Éléments de choix d'un premier site d'implantation à l'AP-HP », avis du CEDIT, janvier 2014

## ARTICLES SCIENTIFIQUES

R. Pailhé, « Total knee arthroplasty: latest robotics implantation techniques », in *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 2020

A. Siddiqi, M.A. Mont, V.E. Krebs, N.S. Piuze, « Not All Robotic-assisted Total Knee Arthroplasty Are the Same », *JAAOS*, vol. 29, n°2, janvier 2021

J. Hubert, « Chirurgie assistée par robot: principes et indications; formation et évaluation des compétences », Bulletin de l'Académie nationale de médecine, 201, n°7-8-9, 1045-1057, 2017

« Chirurgie et interventions assistées par ordinateur (CIAO) - De nouvelles dimensions pour le chirurgien », Dossier de l'Inserm, 2017, revu en 2022

D. Wannenmacher, « Les défis socio-économiques liés à la chirurgie robot-assistée dans les blocs opératoires: espaces d'échanges et artefacts médiateurs », in *Management & Avenir*, n°100, 2018/2

C. Renaud, E. Michinov, P. Jannin, « Impacts de la chirurgie assistée par robot sur le travail d'équipe au bloc opératoire: analyse systématique de la littérature », in *Le travail humain*, vol. 84, 2021/2

P. Dallenbach, P. Petignat, J-M. Wenger, J-B. Dubuisson, « Chirurgie LESS, notes et robotique en gynécologie: mise au point et perspectives », in *Revue médicale suisse*, 2010

T. Gauthier, A. Lacorre, C. Sallee, A. Tardieu, F. Guyon, F. Margueritte, S. Gouy, « Impact de l'étude LACC. Une enquête de la SFOG », Bulletin du cancer, vol. 107, mai 2020

E. Dromzee, H. Stolz, H. Miozzari, D. Hannouche, « Chirurgie robotique: l'avenir de la chirurgie prothétique? », in *Revue Médicale Suisse*, 2018

J. Hubert, « La chirurgie robotique en urologie », in *Progrès en urologie*, 2009

## ARTICLES

V. Lavoué, « Quelle place pour la chirurgie robotique en oncologie gynécologique? », *Gynéco online*, mai 2020

X. Carcopino, « Chirurgie gynécologique robotique: quel bilan? Quel avenir? », *Gynéco online*, février 2021

O. Sterkers, « Chirurgie robot-assistée en ORL et chirurgie cervico faciale: aujourd'hui et demain? », in *La Lettre d'Oto-Rhino-Laryngologie*, n°365, juin 2021

R. Vialle, « Les robots chirurgicaux en pédiatrie: quels progrès en attendre? », in *Réalités pédiatriques*, mai 2020

## SITES INTERNET

Observatoire régional de la chirurgie ambulatoire:  
<http://orca-chirurgie-ambulatoire-ars-idf.fr/>  
Le journal du CNRS :  
<https://lejournal.cnrs.fr/>

**P<sup>r</sup> Richard Assaker**, neurochirurgien au CHRU de Lille

**D<sup>r</sup> Enrica Bentivegna**, chirurgienne oncologue en gynécologie à l'Hôpital européen Georges Pompidou (AP-HP), Paris

**P<sup>r</sup> Thomas Blanc**, chirurgien en chirurgie viscérale et en urologie pédiatrique à l'Hôpital Necker (AP-HP), Paris

**D<sup>r</sup> Jean-Claude Couffignal**, chirurgien thoracique et vasculaire au Centre hospitalier Victor Dupouy d'Argenteuil, et membre du Conseil d'administration de l'Académie nationale de chirurgie dont il est par ailleurs responsable de la robotique chirurgicale et de la formation

**Vincent Delaunay**, Directeur des affaires Médico-économiques d'Intuitive France

**D<sup>r</sup> Marion Durand**, chirurgienne thoracique et cardiovasculaire au Groupe Hospitalier Privé Ambroise Paré

**Youssra El Abdellaoui**, Cheffe de produit, Medtronic France

**Sylvie Espanet**, European Clinical Study Manager, Stryker

**D<sup>r</sup> Jean-Philippe Estrade**, gynécologue-obstétricien et président de la Société de chirurgie gynécologique et pelvienne (SCGP)

**Cécile Geneviève**, System Manager, R&D Department, Zimmer Biomet

**D<sup>r</sup> Gérard Giordano**, chirurgien orthopédiste et traumatologue à l'Hôpital Joseph Ducuing, Toulouse

**Damien Goy**, Chef de gamme Genou et Technologies, Corin

**P<sup>r</sup> Vincent Lavoué**, chirurgien gynécologue-obstétricien au CHU de Rennes

**P<sup>r</sup> Sébastien Lustig**, chef du service de chirurgie orthopédique et médecine du sport de l'Hôpital de la Croix-Rousse, Lyon

**Pierre Maillet**, R&D Associate director, Zimmer Biomet

**D<sup>r</sup> Paolo Mangione**, chirurgien du rachis à l'Hôpital Saint-Martin, Pessac

**P<sup>r</sup> Yann Nguyen**, chirurgien ORL à l'Hôpital de la Pitié-Salpêtrière (AP-HP), Paris

**P<sup>r</sup> Patrick Pessaux**, chef de service de chirurgie viscérale et digestive du CHRU de Strasbourg

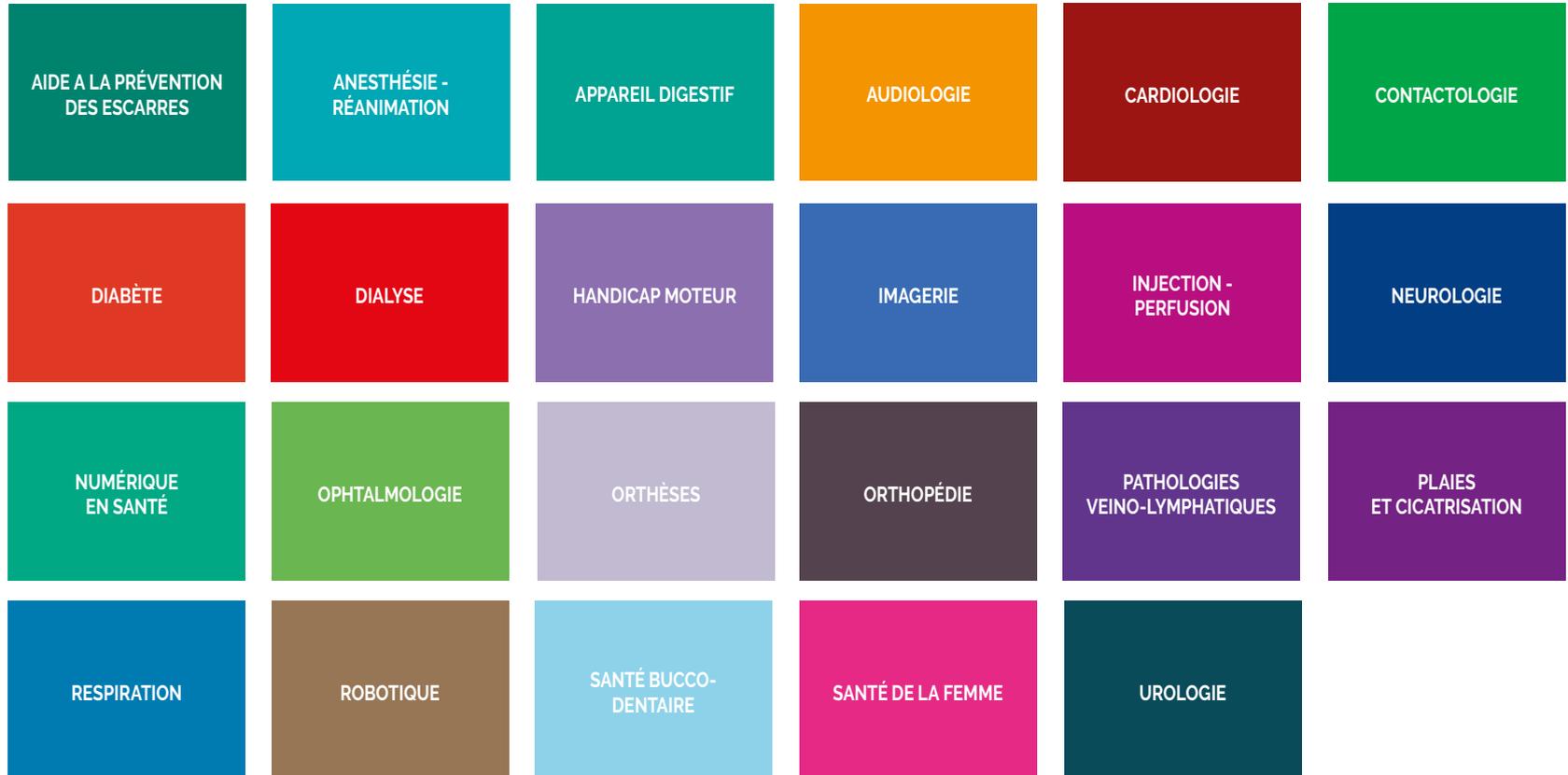
**Nicolas Prévost**, CEO, Collin Medical SAS

**D<sup>r</sup> Sophie Putman**, chirurgien orthopédiste au CHRU de Lille

**P<sup>r</sup> Morgan Roupret**, chirurgien urologue à l'Hôpital de la Pitié-Salpêtrière (AP-HP), Paris

**D<sup>r</sup> Alain Valverde**, chef du service de chirurgie digestive du Groupe Hospitalier Diaconesses-Croix Saint-Simon, Paris





Tous les livrets sont téléchargeables sur le site du Snitem : [www.snitem.fr](http://www.snitem.fr)

# Progrès & dispositifs médicaux

JANVIER 2024



Quand l'épopée de l'innovation  
des dispositifs médicaux  
se confond avec l'extraordinaire  
histoire de la robotique.

## SNITEM

92038 Paris - La Défense cedex

Tél. : 01 47 17 63 88 - Fax : 01 47 17 63 89

[www.snitem.fr](http://www.snitem.fr)

[info@snitem.fr](mailto:info@snitem.fr)

 [@snitem](https://twitter.com/snitem)

