

## Synthèse de la veille de brevets

Au total, cette veille de brevets a permis d'identifier des architectures de robots pouvant être utilisées pour créer un robot sphérique, un centre de rotation déporté et pour porter un outil ou un endoscope.

Certains de ces robots ont déjà comme vocation une utilisation en chirurgie, mais peu connaissent une utilisation commerciale.

En Figure 4.35, nous avons classé l'ensemble de ces brevets en fonction de leur année de dépôt. Nous pouvons constater que les brevets concernant le poignet sphérique ont majoritairement été déposés avant 2000. Cela met en lumière la relative ancienneté de cette invention.

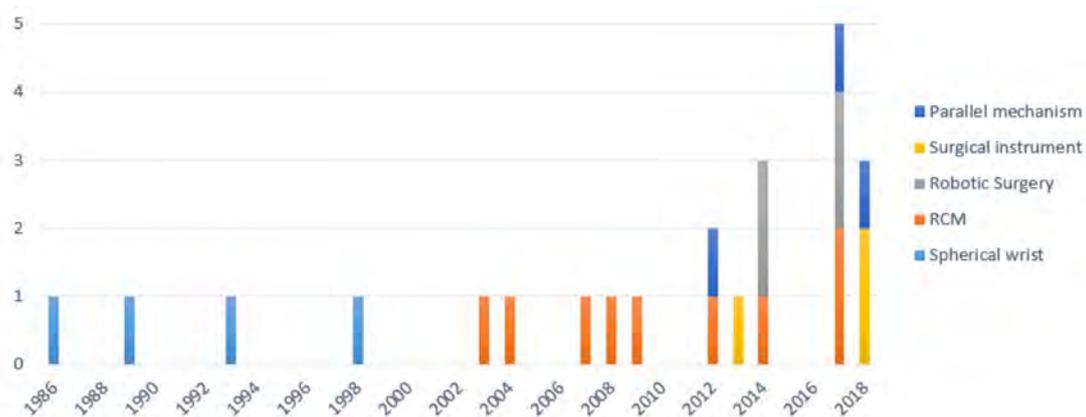


FIGURE 4.35 – Nombre de brevets en fonction des années.

En revanche, si l'on considère les mécanismes parallèles, les instruments chirurgicaux et la robotique médicale, les brevets sont majoritairement récents et en augmentation constante. Cela témoigne de l'actualité de ces sujets et de leur contexte concurrentiel.

Cette veille de brevet semble montrer que notre choix d'architecture lors de l'analyse fonctionnelle se démarque des autres brevets par :

- son association de parallélogramme et de centre de rotation déporté,
- sa capacité de translation de l'effecteur permettant un retrait rapide pour raison de sécurité, ou pour le nettoyage de l'endoscope.



est maintenu fixement par un bras robotisé, un mouvement de tête, même minime, pourrait avoir des conséquences importantes (lésion ossiculaire, paralysie faciale, ...). Notre architecture comporte alors *“un moyen de commande actionné par un individu et annulant le couple exercé par le moteur rotatif de sorte que si l’outil est dans une position abaissée, l’élément élastique revient à la forme initiale provoquant l’élévation de l’outil”*. Autrement dit, par une action mécanique, plus fiable et rapide qu’une interface logicielle, le chirurgien ou son assistant peut entraîner un retrait rapide du dispositif.

- objectif de nettoyage : lors d’une chirurgie endoscopique otologique ou sinusienne, l’extrémité de l’endoscope est régulièrement salie, par du sang le plus souvent. Le chirurgien doit habituellement ressortir l’endoscope du site de travail, pour le nettoyer à l’aide d’une compresse imbibée de sérum.

Ce mécanisme de translation permettrait donc un retrait rapide pour nettoyage puis une remise en place à la position précédente sur le site de travail.

Pour réaliser le mouvement de translation, plusieurs mécanismes peuvent être utilisés. Si la translation est d’une courte distance, un mécanisme 4 barres peut transmettre le mouvement de la base du robot à son extrémité comme illustré sur la Figure 4.36. Si le mouvement possède une amplitude plus importante, le mouvement de translation de l’endoscope serait réalisé par un mécanisme un pignon/crémaillère associé à une transmission par courroie, comme présenté en Figure 4.37. Dans les deux cas, un système mécanique permet d’emmagasiner de l’énergie pour déplacer l’endoscope vers sa position haute. Ce système peut être un ressort linéaire ou de torsion ou un dispositif magnétique.

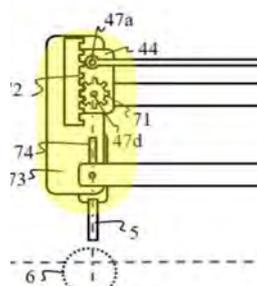


FIGURE 4.37 – Système de translation, tel que présenté dans le brevet déposé [32]

### 4.5.2 Association parallélogramme et oeil agile

Une autre revendication est l'association d'un centre de rotation déporté et d'un poignet sphérique, tel que décrit en 4.3.2.3.d. Cette association a déjà été décrite par le passé [89], mais son application à la chirurgie, et particulièrement à la chirurgie endoscopique paraît innovante.

### 4.5.3 Synthèse du dépôt de brevet

Dans les suites de ce travail, la demande de brevet a été déposée.

L'abrégé de ce brevet a été décrit comme suit, en lien avec la Figure 4.36 :

*Un dispositif d'aide à la chirurgie (1) comporte des moyens pour déporter une rotation de premier type et une rotation de deuxième type, un mécanisme de transmission (40a) d'une rotation de troisième type, un mécanisme de transformation (40b) de la rotation de troisième type en une translation et un élément élastique (41) relié à une extrémité au mécanisme de transmission (40a) de la rotation de troisième type. Le mécanisme de transmission (40a) de la rotation de troisième type est relié à un moteur rotatif, la rotation du moteur rotatif dans un premier sens provoquant l'abaissement d'un outil (5) et une élongation de l'élément élastique, la rotation du moteur rotatif dans un deuxième sens provoquant l'élévation de l'outil (5) et une contraction de l'élément élastique, et lorsque l'outil (5) est dans une position abaissée et que le moteur rotatif n'exerce aucun couple, l'élément élastique (41) revient à une forme initiale provoquant l'élévation de l'outil (5).*

Depuis, un rapport de recherche international de cette demande de brevet a été réalisé, et émis par l'Office Européen des Brevets le 15 octobre 2020.

Ce rapport a émis un avis favorable sur la nouveauté et le caractère inventif (pas de documents pertinents sur ces critères), ce qui nous a permis de garder le jeu de revendications tels que défini et donc de maintenir la portée de l'invention.

La publication (à 18 mois du dépôt) du brevet français a eu lieu le 26 mars 2021 [32].

## 4.6 Etude de marché

Nous avons posé le cadre d'un robot qui soit adapté à la chirurgie endoscopique otologique et sinusienne, et dont le contrôle se fait par un suivi d'instrument, pour que

le chirurgien garde ses deux mains libres. La nécessité d'un système de retrait d'urgence en cas de réveil du patient était soulignée dès cette analyse fonctionnelle.

Il était alors indispensable de réaliser une étude de marché afin de savoir si cette analyse était pertinente, du point de vue du clinicien et du point de vue de l'industriel.

Cette étude a été réalisée en collaboration avec le cabinet Alcimed, avec le soutien de Ouest Valorisation. Dans le cadre de cette analyse, notre système était nommé Sphéro-Robot.

Les objectifs étaient :

- décrypter l'environnement concurrentiel et définir le positionnement de la technologie par rapport aux offres concurrentes,
- étudier la réceptivité du projet auprès des cibles clientèles et des industriels clés développant des solutions d'assistance chirurgicale robotisée
- identifier les industriels prêts à s'associer pour poursuivre le développement du robot.

### **4.6.1 Opportunités de marché**

Le marché mondial des robots chirurgicaux se porte bien et devrait augmenter de 12 % par an à l'horizon 2025. Ce marché représentait environ 6,7 milliards de dollars par an, et devrait croître à 11,8 milliards en 2025.

Parallèlement à cette croissance, l'endoscopie poursuit sa généralisation avec deux procédures phares : la laparoscopie et l'arthroscopie (Figure 4.38). Au total, la chirurgie ORL ne représente que 4 % de part de marché dans le domaine des dispositifs médicaux endoscopiques.

Ainsi, la majorité des acteurs positionnés sur le marché des robots chirurgicaux développent principalement des robots porte-instrument pour la laparoscopie et la chirurgie orthopédique.

Pour identifier la réceptivité du projet et définir le positionnement de notre système, nous avons sélectionné plusieurs spécialités médicales, et interviewé des référents au sein de chacune de ces spécialités.

#### **4.6.1.1 Oto-endoscopie**

La chirurgie otologique sous endoscopie demeure à ce jour une pratique très minoritaire avec seulement 7500 opérations réalisées estimées par an. On considère que cela concerne

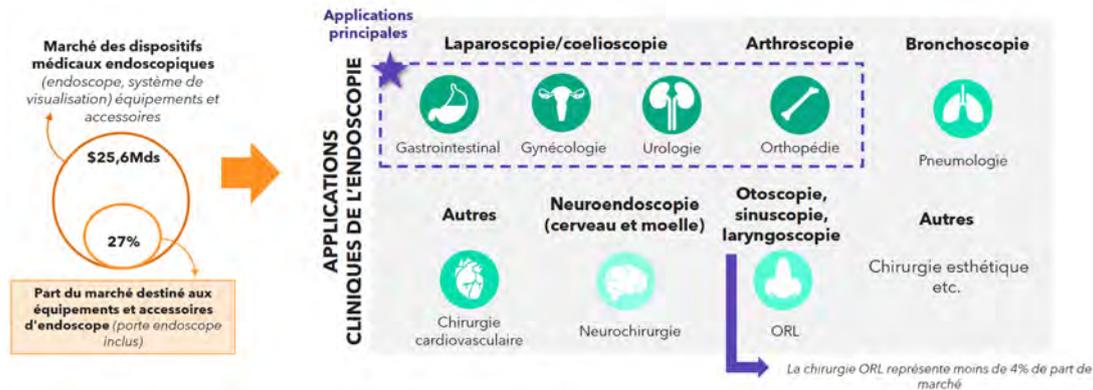


FIGURE 4.38 – Marché des dispositifs endoscopiques et applications cliniques principales.

la moitié des chirurgies de l'oreille moyenne réalisées (Figure 4.39). Ce chiffre est à mettre en perspective avec les 250 000 coelioscopies réalisées annuellement.

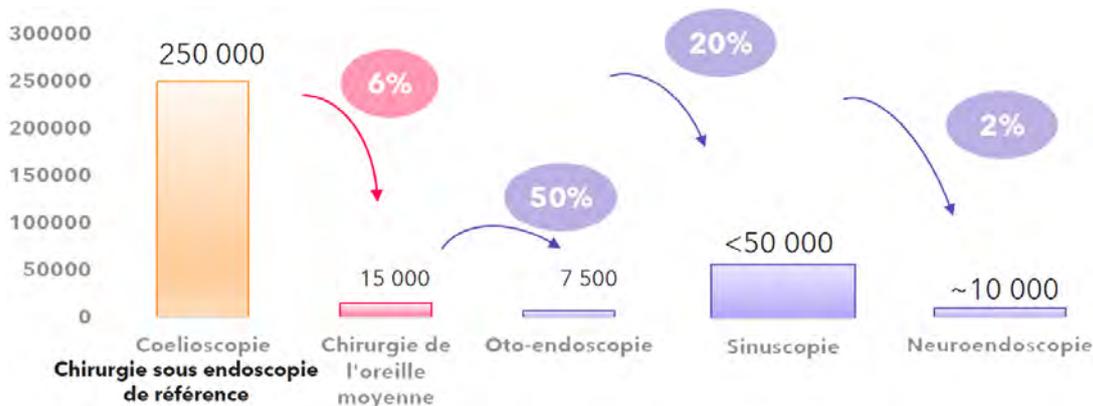


FIGURE 4.39 – Nombre de chirurgies endoscopiques en chirurgie otologique, sinusienne et neurochirurgicale, comparées à la coelioscopie Sources : HAS, Observatoire de la Santé.

Les chirurgiens interrogés (Dr Rumeau, Nancy ; Dr Ayache, Cannes) notaient, comme cela est retrouvé dans la littérature et rapporté dans le chapitre 2.3, que la chirurgie "one-hand" lors de l'oto-endoscopie limitait l'extension du recours à l'endoscopie. A leur sens, les défis à relever pour le chirurgien sont : la difficulté à opérer à une main, dans un espace restreint ; l'absence de vision 3D reconstituée par le biais de mouvements translationnels ; la difficulté à contrôler les saignements ; les possibles réveils et mouvements brutaux des patients.

Les solutions actuellement sur le marché n'étaient pas jugées satisfaisantes d'après les chirurgiens interrogés.

Pour eux, le Robotol “*n’a pas une vitesse d’exécution adaptée*” à la chirurgie endoscopique, et “*c’est un trop gros robot*”. Ils estiment que “*c’est un robot hors de prix et limitant en termes d’applications, car toutes les procédures sous endoscopie ne peuvent pas être réalisées*”. Le problème du contrôle est également mis en avant par un opérateur, considérant qu’avec la SpaceMouse “*on en vient au même problème, nous sommes obligés de libérer une main*”. L’Endofix Exo est jugé plus sévèrement dans le domaine de l’oto-endoscopie, considéré comme “*un outil non adapté, avec un côté dynamique totalement absent, sans aucune plus value pour nous*”. Ce système n’est “*pas en accord avec les attentes d’un otologiste en termes de solution d’assistance, vu l’absence de motorisation et l’encombrement*”. Ces constatations paraissent logiques puisque ce système, non conçu pour l’ORL initialement, n’a ensuite été testé que dans la mastoïde et les sinus, comme décrit en 4.2.1.3.

Les caractéristiques de notre système ont suscité l’intérêt des chirurgiens/utilisateurs interrogés, considérant qu’il pourrait s’agir d’une solution répondant aux attentes des chirurgiens et les soulager. Les points importants rapportés étaient que “*la philosophie de développement de ce robot est selon moi la bonne, c’est à dire penser le robot pour soulager le praticien. Il faudra alors bien penser le système de commande, qu’il s’adapte aux différentes procédures en otologie et surtout que le prix soit accessible*” Un autre opérateur soulignait que “*l’encombrement du robot est un point essentiel en otologie, et ce robot semble répondre aux attentes. A voir une fois développé.*”.

Ainsi, d’après cette analyse, le positionnement de notre robot en otologie doit valoriser :

- le dispositif de système de retrait d’urgence,
- le nettoyage de l’optique,
- l’adaptabilité de la mobilité aux contraintes de la spécialité,
- l’ergonomie.

Le récapitulatif du positionnement de notre système en chirurgie otologique est représenté Figure 4.40.

#### 4.6.1.2 Chirurgie endonasale

L’utilisation systématique de l’endoscope est systématique en chirurgie endonasale, et représente donc un marché important en ORL. A l’heure actuelle, on estime que près de 100% des chirurgies endonasales sont effectuées sous endoscopie. Cela représente près de



FIGURE 4.40 – Positionnement de notre système robotique en chirurgie otologique.

50 000 procédures annuelles, soit 6 fois plus que le nombre d’oto-endoscopies à l’heure actuelle, mais 5 fois moins que le nombre de coelioscopies (Figure 4.39). Cependant, comme évoqué dans la partie 2.5, bien que les chirurgiens soient formés et habitués à ce type de procédures, plusieurs défis techniques restent à relever pendant l’opération, principalement liés à la contrainte de la chirurgie à une main.

Comme pour l’oto-endoscopie, les dispositifs actuels ne semblent pas adaptés aux contraintes des chirurgiens rhinologistes interrogés (Pr Serrano, Toulouse ; Dr Rumeau, Nancy). Le Robotol *“n’a pas été pensé pour la chirurgie endonasale et au vu de son dimensionnement, je vois mal comment ils pourraient l’adapter pour ce que nous faisons”*.

Quant à l’EndofixExo, système évalué pour la chirurgie endonasale (4.2.2.1), *“nous l’avons également testé pour le nez et cela ne va pas du tout. Il n’apporte rien au geste que nous maîtrisons déjà. Nous avons besoin d’un système mobilisable”*.

Notre système pourrait les intéresser à condition d’avoir une translation de l’endoscope, pour des mouvements en profondeur. Ainsi, ils rapportent que *“les procédures nécessitent des mouvements de rotation et translationnels. Il faudrait que ce robot porte-endoscope soit animé d’une grande variété de mouvements afin d’avoir une plus grande adhésion des chirurgiens rhinologistes”*.

Ainsi, pour que le robot soit adapté à l’utilisation en chirurgie endonasale, il est primordial que la mobilité soit adaptée aux contraintes de la spécialité, avec une translation de l’effecteur principalement. En effet, la mobilité fait partie des éléments clés rapportés par les chirurgiens. Cela permettrait de se différencier des offres concurrentes et de s’adapter aux contraintes de la rhinologie. Le système de retrait d’urgence est un autre

élément à valoriser pour notre système robotique.

Le récapitulatif du positionnement de notre système en chirurgie endonasale est représenté Figure 4.41.

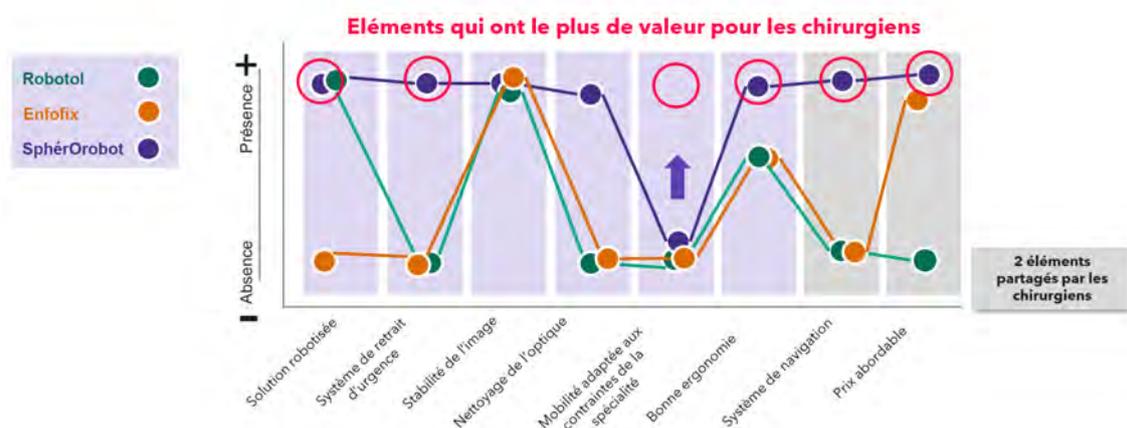


FIGURE 4.41 – Positionnement de notre système robotique en chirurgie endonasale.

#### 4.6.1.3 Neurochirurgie

En neurochirurgie, on distingue deux applications principales pour la neuro-endoscopie, qui représentent environ 10 000 opérations réalisées par an : la chirurgie de l’adénome hypophysaire, et l’hydrocéphalie non communicante (Figure 4.39). Les voies d’abord privilégiées en neuro-endoscopie sont la voie endo-nasale, et la voie par le biais d’incisions. Les endoscopes utilisés sont de mêmes diamètres et angulations que ceux utilisés en chirurgie ORL, avec des longueurs similaires (15-21 cm en neurochirurgie, versus 17,5 cm maximum en chirurgie endonasale et 6 à 14 cm en chirurgie otologique).

La taille des espaces de travail est très limitée, et oblige les chirurgiens à demeurer dans des phases d’immobilité prolongées.

Les défis à relever, d’après les neurochirurgiens interrogés (Pr Vinchon, Lille ; Pr Decq, Paris ; Dr Chauvet, Paris ; Dr Boetto, Montpellier), sont : la contrainte d’une chirurgie à une main, comme en otologie ou chirurgie endonasale ; l’espace de travail très restreint et les mouvements limités et très fins, comme en chirurgie otologique.

Les chirurgiens de notre panel estiment que les solutions disponibles ou qu’ils ont testé, tels que VickyEp et le DaVinci, présentent des atouts technologiques séduisants mais non suffisants pour les convaincre. Ainsi, le VickyEp, robot porte-endoscope avec système de commande vocale, a été testé en laboratoire d’anatomie, mais est considéré comme “assez

*gros pour la neurochirurgie, c'est gênant*". Le Neuromate est un robot stéréotaxique et porte-instrument, avec des applications pour la neuro-endoscopie, l'implantation d'électrodes et la réalisation de biopsies. Un des chirurgiens note qu' *"il s'agit tout de même d'un dispositif lourd et complexe à l'utilisation et cher à l'achat, 400 à 500 k€"*. Enfin, le Da Vinci, robot télé-opératif porte-instrument (dont l'endoscope), pourrait convenir si *"le gros volume était compensé par leur technologie de bras multi-instruments"*. Mais un travail en ce sens par un des chirurgiens n'aurait pas abouti car *"le marché était trop petit"* pour la société Intuitive qui le commercialise.

Notre système n'a pas complètement convaincu en l'état le panel de chirurgiens. En effet, certains considèrent que

- *"le retrait d'urgence a peu d'intérêt pour la neuro. Il nous arrive d'avoir des patients qui toussent mais c'est très rare. Les dégâts seraient trop lourds avec un retrait brutal de l'endoscope."*
- *"si c'est juste un robot porte endoscope, cela ne suffira pas. Il nous faut de la robotique de précision qui n'encombre pas l'espace, qui soit autorisée à bouger dans l'espace opératoire avec une rapidité de mise en oeuvre et voire un système de navigation"*.

D'autres estiment cependant que

- *"l'assistance proposée par ce robot permettrait de nous aider sans nous remplacer",*
- *"le principal atout serait d'avoir ses deux mains pour pouvoir gérer les saignements. Dans la zone dans laquelle on se trouve, cela pourrait être critique. Cela pourrait motiver les neurochirurgiens à tester ce robot",*
- *"aujourd'hui, on utilise des bras fixés non robotisés. Avoir ce type de dispositif serait avantageux lors des phases immobiles. Concernant le système de commande, je trouve que le joystick est plus fiable que la commande vocale. Il serait intéressant de pouvoir monitorer la position de l'endoscope"*.

Ainsi, pour se différencier des autres technologies et adapter notre système aux contraintes de la neurochirurgie, il faut que notre système ait une mobilité adaptée à leur espace de travail, avec une bonne ergonomie, un prix abordable voire un système de navigation.

Le récapitulatif du positionnement de notre système en neurochirurgie est représenté Figure 4.42.

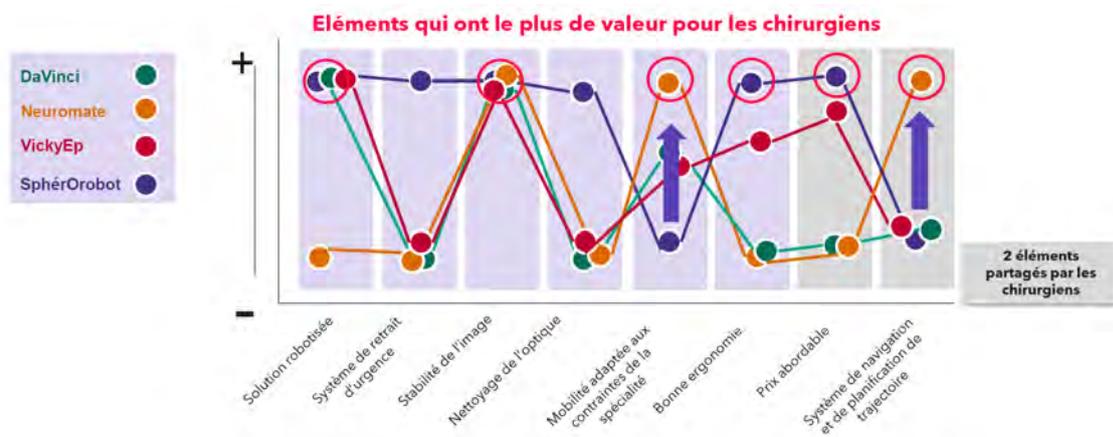


FIGURE 4.42 – Positionnement de notre système robotique en neurochirurgie.

#### 4.6.1.4 Orthopédie

Plusieurs chirurgiens orthopédiques (Pr Servien, Lyon ; Pr Sirveaux, Nancy ; Pr Bauer, Paris) ont été interrogés quant à l'intérêt de notre système robotique pour les procédures d'arthroscopie. En effet, avec environ 360 000 chirurgies réalisées par an, l'arthroscopie est la première procédure sous endoscopie réalisée en France, devant la coelioscopie. L'arthroscopie de l'épaule et du genou représente 80% des interventions d'arthroscopie réalisées en France.

A l'inverse des procédures endoscopiques en neurochirurgie, les phases d'immobilité sont courtes au sein de l'articulation, et disséminées tout au long de la procédure. Ainsi, la mobilité de l'endoscope est un enjeu clé, car *“la main qui porte l'endoscope est tout le temps en mouvement”*.

Actuellement, il n'existe pas de robots d'assistance pour l'arthroscopie. Aucun des industriels actuellement positionné sur le marché de la robotique chirurgicale en orthopédie ne propose de dispositif tels que des porte-arthroscopes. En effet, le marché est principalement tourné vers l'arthroplastie, avec des solutions d'assistance pour la planification pré et per opératoire en vue de la reconstruction articulaire (par exemple, les systèmes Rosa de Zimmer Biomet, T-Solution One de THINK Surgical ou Navio de Smith&Nephew).

Malgré ce constat, selon les chirurgiens interrogés, notre système ne permettrait pas de les assister de manière optimale, le rapport bénéfice/temps d'installation étant limitant. En effet, ils estiment que *“les phases d'immobilité étant très courtes, il faudrait déplacer le robot, le remettre, etc. Il faudrait réajuster le robot en permanence, je ne suis pas sûr que cela soit très pratique”*; ou que *“dans l'hypothèse où nous utiliserions ce genre de*

*robot, je pense que nous perdrons plus de temps à le déplacer et le replacer par rapport à ce que nous faisons aujourd'hui”.*

Ainsi, bien que pour l'arthroscopie, aucune concurrence ne soit présente, plusieurs éléments ayant de la valeur pour les orthopédistes ne sont, à ce jour, pas proposés par notre dispositif (mobilité adaptée aux contraintes de la spécialité, gain de temps durant l'opération et système de navigation).

#### 4.6.1.5 Synthèse des opportunités de marché

- Notre dispositif semble convaincre pour l'oto-endoscopie. En effet, le Robotol et l'Endofix ne satisfont pas les praticiens qui les jugent non adaptées aux contraintes rencontrées. Les chirurgiens sont donc en attente de solutions pensées par eux et pour eux, et notre dispositif représente une perspective intéressante. Les attentes dans ce domaine sont (i) un porte endoscope s'adaptant à toutes les optiques, (ii) un système de commande adapté et différenciant, (iii) un prix abordable.
- En chirurgie endonasale, notre dispositif pourrait convenir aux chirurgiens interrogés. En effet, bien que les praticiens s'interrogent sur la capacité du robot porte-endoscope à recréer les mouvements actuellement réalisés (translationnels, rotationnels), ils reconnaissent que le système de sécurité pensé par les équipes ainsi que la robotisation du bras porteur sont un atout pour leurs pratiques. Les attentes dans ce domaine sont (i) la mobilité de l'endoscope dans toutes les directions de l'espace, (ii) un système de navigation, (iii) un prix abordable.
- En neurochirurgie, l'intérêt est modéré pour notre dispositif. Les chirurgiens interrogés reconnaissent que la proposition d'un robot porte-endoscope représenterait une opportunité d'assistance en neuro-endoscopie. Cependant, le panel de solutions technologiques proposées par le dispositif ne sont pas en l'état en adéquation avec la réalité de leurs procédures. Les attentes dans ce domaine sont (i) une mobilité de l'endoscope dans toutes les directions de l'espace, (ii) un prix abordable, (iii) une robotique de précision (système de navigation, ...).
- En orthopédie, le robot porte-endoscope n'a pas remporté l'adhésion des chirurgiens. En effet, les contraintes rencontrées par les chirurgiens pendant l'opération (mobilité de l'endoscope, courtes phases d'immobilités pour les sutures, etc) sont trop éloignées de la proposition de notre dispositif.

## 4.6.2 Retours des industriels

Les industriels pouvant nourrir un intérêt dans le co-développement du robot ont été ciblés selon : la taille de l’entreprise, le champ d’application en relation avec les cibles chirurgicales de notre système, le développement de porte-endoscopes et/ou porte-instruments, l’architecture des bras armés, la présence en France. En suivant ces indicateurs, 10 sociétés ont été ciblées et interrogées (Collin, Intuitive, Medtronic, Zimmer Biomet, CMR Surgical, endocontrol, Renishaw, Sagentia, Free Hand, Robocath).

Les sociétés qui fabriquent déjà un robot ne souhaitent pas investir dans le co-développement du SphéRObot. Trois raisons principales à cela étaient avancées, selon les acteurs interrogés :

- un robot chirurgical a été développé en interne, et est d’ores et déjà en attente d’un marquage CE ; la société souhaite alors se focaliser sur ce système (par exemple, Zimmer Biomet : *“Nous souhaitons optimiser l’utilisation de notre robot ROSA et faire avancer les projets d’innovation que nous avons dans le pipe. Un autre co développement n’est pas possible à date”*).
- un robot porte-endoscope seul ne les intéresse pas, car ne répond pas à leurs objectifs (par exemple, Renishaw répondait que *“nous ne nourrissons pas d’intérêt pour le co-développement de robots porte-endoscope”*).
- le marché ciblé est trop petit et/ou à trop faible enjeu (par exemple, Intuitive expliquait que *“l’ORL et la neurochirurgie sont des marchés trop petits pour que nous nous positionnions. Nous possédons des prototypes et brevets destinés à ces spécialités chirurgicales mais il n’y a pas d’intérêt à ce que nous les valorisions”*).

Cependant, d’autres sociétés ont exprimé leur intérêt à développer ce type de robot porte-endoscope : Sagentia et Free Hand. Ces sociétés ont un modèle économique basé sur l’appui au développement de projet (mobilisation rémunérée de ressources internes type ingénieur pour le développement de robot) puis le développement interne de leurs propres produits financé par des levées de fond.

Globalement intéressées par le projet, ces deux sociétés ont apprécié les solutions technologiques proposées ainsi que le ciblage de l’ORL et de la neurochirurgie. Ainsi, les sociétés interrogées expliquent que *“ces domaines d’application sont très spécifiques, avec un bénéfice à développer ce type de solutions”*, que le système de retrait d’urgence est, pour Medtech, *“l’atout du robot”*. Le système de tracking était également bien reçu par FreeHand, disant que *“l’idée est intéressante, cela sous-entend qu’il faudrait également se*

*rapprocher des leaders d'optique. Il y a une relation à créer entre la caméra et le cobot*". Ces deux sociétés sont prêtes à poursuivre les discussions si l'équipe de recherche remplit les différentes conditions exprimées, notamment le financement des prestations.

Au total, les fabricants de robots tels qu'Intuitive, CMR Surgical ou Medtronic ne nourrissent pas l'ambition de se positionner sur les marchés de la chirurgie minimale invasive en ORL et en neurochirurgie, jugeant ces domaines comme étant limitant en termes de volume. De plus, leur stratégie actuelle s'oriente principalement dans le rachat de medtech structurées ayant déjà fait leur preuve en termes de robots chirurgicaux d'intérêt.

Néanmoins, deux sociétés, dont le business model s'appuie en partie sur l'appui au développement de robots chirurgicaux, étaient intéressées et souhaitaient poursuivre les discussions.

### 4.6.3 Synthèse de l'étude de marché

Parmi les marchés de chirurgie endoscopique explorés, l'ORL (otologie et rhinologie) et la neurochirurgie sont retenues comme étant des spécialités où le SphérOrobot pourrait remporter l'adhésion des chirurgiens et répondre à leurs besoins. Les solutions technologiques proposées telles que le système de retrait d'urgence et le système de tracking ont retenu l'attention des interlocuteurs.

Le marché potentiel estimé atteindrait environ 70 000 procédures par an, en France.

Afin de garantir l'adoption de ce nouveau dispositif, l'un des enjeux clés de ce développement est de développer un robot s'adaptant à toutes les procédures de ces spécialités.

Côté industriel, le projet n'a pas suscité l'intérêt des gros et moyens fabricants de robots chirurgicaux de laparoscopie ou d'arthroplastie, ne coïncidant pas avec leur actuelle stratégie R&D. Cependant, Sagentia et Freehand, sociétés ayant un volet service de développement et maîtrisant les process de fabrication, sont intéressées par le projet. Afin de préparer les échanges avec eux, une réflexion doit être menée sur le modèle économique et le prix de vente possible du robot, à mettre en regard du coût de développement.

## 4.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons tout d'abord détaillé les nombreuses propositions robotiques étudiées par différentes équipes dans la littérature. Nous avons réalisé une classification de ces systèmes robotiques en fonction de leur application dans les domaines de la chirurgie de l'oreille et des sinus. Cependant, nombreux sont les robots qui restent au stade pré-clinique et ne sont pas utilisés au bloc opératoire. Parmi ces systèmes, aucun à l'heure actuelle n'est spécifiquement conçu pour tenir un endoscope quelque soit l'espace de travail.

Nous avons alors présenté une analyse fonctionnelle de notre système robotique, en précisant les fonctions auxquelles il devrait répondre, et selon quelles modalités de fixation et de contrôle. Nous avons également vu les différents types d'architecture pouvant répondre à nos besoins.

Pour savoir si ces propositions étaient innovantes ou non, nous avons réalisé une veille de brevet. En l'absence de système comparable, nous avons déposé un brevet, qui a reçu un avis favorable et a été publié en mars 2021.

Enfin, pour savoir si ce système correspondait aux attentes du milieu médical et industriel, une étude de marché a été menée. Notre robot répond, d'après le panel de chirurgiens interrogés, à plusieurs attentes dans les milieux de l'otologie, de la chirurgie sinusienne voire de la neurochirurgie, en se différenciant des systèmes existants. Certains industriels ayant un volet service de développement ont fait part de leur intérêt. Mais les plus gros industriels contactés, eux, étaient peu intéressés en raison d'un nombre de chirurgies annuel insuffisant, ou d'une absence de stratégie R&D dans ce domaine. Un degré de maturation plus important de la technologie pourrait aider à convaincre des industriels à s'engager dans ce projet.