



HAL
open science

Contrôler l'endoscope à distance en situation de téléexpertise chirurgicale

Océane Lelièvre, Helena M Mentis, David Fuks, Ignacio Avellino

► **To cite this version:**

Océane Lelièvre, Helena M Mentis, David Fuks, Ignacio Avellino. Contrôler l'endoscope à distance en situation de téléexpertise chirurgicale. IHM'24 - 35e Conférence Internationale Francophone sur l'Interaction Humain-Machine, AFIHM; Sorbonne Université, Mar 2024, Paris, France. hal-04487327

HAL Id: hal-04487327

<https://hal.science/hal-04487327>

Submitted on 3 Mar 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Contrôler l'endoscope à distance en situation de téléexpertise chirurgicale

Understanding Remote Endoscope Control for Surgical Telementoring

OCÉANE LELIÈVRE, Sorbonne Université, Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique, ISIR & Department of Digestive, Pancreatic, Hepato-biliary and Endocrine Surgery, Cochin Hospital, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP); University of Paris-Centre, France

HELENA M. MENTIS, University of Maryland, Baltimore County, USA

DAVID FUKS, Department of Digestive, Pancreatic, Hepato-biliary and Endocrine Surgery, Cochin Hospital, Assistance publique-Hôpitaux de Paris (AP-HP); University of Paris-Centre, France

IGNACIO AVELLINO, Sorbonne Université, CNRS, INSERM, Institut des Systèmes Intelligents et de Robotique, ISIR, France

En téléexpertise chirurgicale, un mentor assiste un chirurgien novice à distance. Les systèmes de téléexpertise actuels permettent de coopérer autour d'images mais seul le novice peut contrôler l'endoscope qui filme le champ opératoire. Cette asymétrie impacte la communication. Notre objectif est de comprendre comment concevoir un système permettant le contrôle de l'endoscope à distance pour la téléexpertise chirurgicale. Nous avons réalisé des workshops avec des chirurgiens pour comprendre quelles situations bénéficient du contrôle distant de l'endoscope et comment un mentor pourrait interagir avec un bras porte-endoscope robotique. Nos résultats montrent que le contrôle distant permet au mentor de construire des vues dans de champs opératoires complexes et permet de soulager la charge physique et cognitive du chirurgien locale. Pour interagir avec l'endoscope, les participants ont suggéré des mécanismes simples et accessibles, comme un écran tactile ou un(e) clavier/souris d'ordinateur. Ces éléments participent à la conception d'une future étude où nous comparons le contrôle distant de l'endoscope à son contrôle local dans la réalisation de tâches de téléexpertise chirurgicale.

Surgical telementoring involves a remote mentor assisting a local surgeon. Existing telementoring systems enable collaboration around endoscopic video images but only the local surgeon can manipulate the view. This asymmetric interaction impacts communication. To address this problem, we aim to understand how to realize a remotely-controlled endoscope for surgical telementoring. We conduct workshops with surgeons to understand what situations benefit from the remote endoscope control and how a remote mentor should interact with a robotic endoscope. We find that remote control can enable mentors in efficiently crafting views of complex surgical fields, and, it can relieve local surgeons of mental and physical load. To interact with the endoscope, surgeons suggested simple and accessible mechanisms like touchscreen or computer mouse/keyboard. These findings inform a subsequent study where we compare remote endoscope control to local control in tasks simulating surgical telementoring situations.

CCS Concepts: • **Human-centered computing** → **Collaborative and social computing; Interaction design process and methods.**

Mots Clés et Phrases Supplémentaires: Chirurgie laparoscopique, Contrôle de l'endoscope, Endoscope robotisé, Téléexpertise

Additional Key Words and Phrases: Laparoscopic surgery, Endoscope control, Robotic endoscope, Telementoring

Reference:

Océane Lelièvre, Helena M. Mentis, David Fuks, and Ignacio Avellino. 2024. Contrôler l'endoscope à distance en situation de téléexpertise chirurgicale. *IHM '24 : Actes étendus de la 35^e conférence Francophone sur l'Interaction Humain-Machine, March 25–29, 2024, Paris, France*

1 INTRODUCTION

En chirurgie laparoscopique, ou mini-invasive, les instruments chirurgicaux sont insérés dans le corps au travers d'incisions centimétriques. Un premier chirurgien opère tandis qu'un second filme l'intérieur du corps en manipulant une caméra appelée endoscope, elle aussi insérée au travers d'une petite incision. Les images sont retransmises en temps réel sur un écran 2D. Le chirurgien réalise l'intervention via une vision indirecte du champ opératoire. Les deux chirurgiens doivent coopérer efficacement pour construire les images permettant la compréhension du champ opératoire pour ensuite réaliser l'intervention [17]. Dans la majorité des cas, un chirurgien expérimenté (mentor) opère tandis qu'un moins expérimenté (novice) manipule l'endoscope. Étant à côté du novice, lorsqu'il souhaite cibler une structure ou modifier l'angle de vue, le mentor peut, en plus des explications orales, réaliser des gestes comme pointer l'écran du doigt ou bien ajuster lui-même la position de l'endoscope.

Cependant, toutes ces formes de communication non verbale ne sont pas utilisables lorsque le mentor se trouve à distance du novice. Hors, cette situation de *téléexpertise* est en plein essor, en raison de l'inégale répartition de l'accès aux soins dans les territoires à différentes échelles dans le monde [16]. Contrairement à lorsqu'il est sur place, le mentor ne peut pas prendre en main l'endoscope et ajuster lui-même l'angle de vue. Il existe donc une interaction asymétrique autour de la construction des images chirurgicales lors de situations de téléexpertise qui n'est pas en faveur d'une coopération efficace permettant aux deux parties une pleine compréhension du champ opératoire [18]. Permettre une manipulation à distance de l'endoscope grâce à un bras robotique porte-endoscope télémanipulé par le mentor serait un moyen de corriger ce problème d'asymétrie. Bien qu'il existe des travaux s'intéressant à ces bras robotiques porte-endoscope en chirurgie laparoscopique, leur application dans le domaine de la téléexpertise n'a pas été étudiée. Il s'agit principalement d'études de faisabilité [3, 10, 12] ou portant sur les méthodes d'arbitrage du contrôle partagé de l'endoscope entre chirurgien et robot [14, 20, 21].

Notre objectif est de comprendre comment réaliser un contrôle à distance de l'endoscope en situation de téléexpertise en chirurgie laparoscopique. En particulier, nous souhaitons comprendre (1) quels bénéfices pourrait apporter le contrôle à distance de l'endoscope par le mentor et (2) de quelle manière le mentor devrait-il interagir avec cet endoscope robotisé. Nous présentons ici les résultats d'une étude menée sous forme d'ateliers collaboratifs (workshops) avec des chirurgiens spécialisés en chirurgie laparoscopique. Les résultats montrent que cette approche pourrait faciliter l'exploration de champs opératoires vastes et complexes, qui nécessite de nombreuses manipulations de l'endoscope. De plus, déléguer le contrôle de l'endoscope au mentor permettrait de soulager le novice d'une forme de charge mentale et physique. Il pourrait prendre du recul en cas de situation stressante ou bien se concentrer pleinement sur la manipulation des tissus lorsqu'il est guidé dans la réalisation d'un geste technique. Concernant le contrôle de l'endoscope, les chirurgiens interrogés semblent préférer des modes d'interaction fortement disponibles en pratique clinique et dont l'usage est quotidien tels qu'un écran tactile ou une souris d'ordinateur associée au clavier.

Ces résultats contribueront à la conception d'une future étude expérimentale comparant le contrôle à distance de l'endoscope par le mentor à son contrôle local par le novice au travers d'une tâche simulant une situation de téléexpertise. Ils contribuent aussi à l'amélioration des systèmes de téléexpertise chirurgicaux.

2 TRAVAUX CONNEXES

Pour mieux comprendre les problèmes liés à la coopération à distance autour d'images chirurgicales, nous nous intéressons d'abord aux apports et limites des systèmes de téléexpertise développés ces vingt dernières années. Dans

un second temps, nous passons en revue les différents modes d'interaction qui permettent de contrôler un endoscope robotisé.

2.1 Les systèmes de téléexpertise en chirurgie

Les systèmes les plus simples consistent en l'apport d'un support vidéo et audio partagé à distance via une application sur PC, tablette ou smartphone [5]. D'autres, comme VisitOR1®, correspondent à des robots de téléprésence qui transmettent une vision extérieure (c.-à-d., la salle d'opération) et une vision interne (c.-à-d., les images filmées par l'endoscope). Seule la vision extérieure peut être contrôlée à distance par le mentor [19]. Ces systèmes sont aussi équipés d'outils déictiques tels que les pointeurs virtuels ou les outils d'annotation qui permettent d'améliorer la compréhension des images chirurgicales par le novice [7, 8]. Certains permettent l'utilisation par le mentor d'instruments virtuels qui se superposent au champ opératoire pour montrer un geste au novice [24]. Plus récemment, des casques ou lunettes de réalité augmentée tel que le Microsoft HoloLens® ont été développés. Ils améliorent la communication en permettant au novice de visualiser directement les annotations du mentor dans son champ de vision [15] et d'annoter lui aussi les images du champ opératoire [6]. Cependant, ces systèmes produisent une vision mobile qui nécessite des outils dynamiques permettant d'annoter en temps réel plutôt que d'avoir à geler l'image [23]. Quel que soit leur niveau de complexité, aucun de ces systèmes de téléexpertise ne permet au mentor de construire directement à distance l'image du champ opératoire filmée par l'endoscope. Cela ampute ses capacités à transmettre son expertise au novice en comparaison à lorsqu'il est présent physiquement en salle d'opération. Cet élément justifie d'étudier comment contrôler à distance l'endoscope pour améliorer les systèmes de téléexpertise en chirurgie laparoscopique.

2.2 Modes d'interaction à distance de l'endoscope

Les systèmes d'endoscopes robotisés ont été majoritairement conçus dans le but de permettre au chirurgien d'opérer seul et de se passer d'une assistance humaine faillible responsable d'images instables ou inadéquates [9, 11]. Premièrement, le bras robotique porte-endoscope doit être facile à monter et démonter, ne pas entraver les mouvements du chirurgien et assurer sécurité, précision et vitesse dans l'exécution des mouvements selon 4 degrés de liberté (inclinaison droite/gauche, haut/bas, zoomer/dézoomer et rotation) [11]. Ensuite, le chirurgien doit pouvoir manipuler l'endoscope tout en utilisant ses deux mains pour opérer. Plusieurs options ont donné de bons résultats : joystick stérile clampé sur la poignée d'un instrument chirurgical [3, 11, 13], commande vocale [1, 3, 12], pédale [1, 12, 25] mouvements de tête [10, 25]. Notre étude s'intéresse au contrôle de l'endoscope robotisé en dehors de la salle d'opération. Le mentor a les mains libres et peut donc également utiliser des modes d'interaction classiques tels qu'un écran tactile, une souris ou un clavier, ce qui n'a pas encore été étudié.

3 MÉTHODES

3.1 Design de l'étude et participants

Deux sessions de workshop ont été réalisées, chacune incluait deux participants et deux chercheurs — le premier auteur animait la session tandis que le dernier auteur prenait des notes. Le workshop était organisé en deux phases, la première recherchant les bénéfices d'un endoscope contrôlable à distance par le mentor, et la deuxième s'intéressant à son mode d'interaction. Par soucis de transparence, le protocole de cette étude a été pré-enregistré : <https://osf.io/2zbp4>. Le format de cette étude ne nécessitait pas l'accord d'un Comité de Protection des Personnes (CPP). Les auteurs sont néanmoins formés à ces enjeux éthiques. Deux chirurgiens diplômés et deux internes, tous spécialistes en chirurgie

digestive, ont participé à cette étude (tableau 1). Aucun d’entre eux n’utilise de système de téléexpertise dans leur pratique clinique. Pour recruter les participants, nous avons bénéficié du réseau professionnel du premier auteur. Tous ont consenti de manière écrite.

Workshop	Participant	Expérience chirurgicale (années)	Sexe	Institution
W1	P1	Chirurgien diplômé (6)	Femme	H1
	P2	Interne (5)	Femme	H1
W2	P3	Chirurgien diplômé (19)	Homme	H1
	P4	Interne (4)	Homme	H2

TABLE 1 – Caractéristiques démographiques des participants.

3.1.1 Phase 1 : Bénéfices du contrôle à distance de l’endoscope en situation de téléexpertise chirurgicale. Cette première phase avait pour but d’identifier les situations où le contrôle à distance de l’endoscope pourrait être pertinent pour aider au design de notre future étude expérimentale comparant contrôle distant et contrôle local. En 15 minutes, les participants devaient développer chacun 3 scénarios basés sur leurs expériences professionnelles et qui auraient pu bénéficier d’un usage de la téléexpertise avec partage d’images du champ opératoire. Nous avons ensuite recherché les potentiels avantages et inconvénients du contrôle à distance de l’endoscope dans chacun des scénarios en réalisant de courts jeux de rôle (5 minutes chacun) où les participants s’imaginaient utiliser un tel système. Le chirurgien diplômé prenait le rôle du mentor tandis que l’interne prenait celui du novice. Les participants ont, en plus de leur participation orale, répondu à un premier questionnaire interrogeant sur les avantages et limites du contrôle à distance de l’endoscope en termes de communication, de transmission de savoir, de sécurité et d’efficacité (Annexe A.1).

3.1.2 Phase 2 : Interagir à distance avec l’endoscope robotisé. Cette seconde phase avait pour but d’évoquer différents modes d’interaction et d’en identifier les caractéristiques pour aider à la conception de l’endoscope robotisé et de l’interface de contrôle dans notre future étude expérimentale. Pour aider les participants à générer des idées de modes d’interaction, nous avons utilisé une version de brainstorming appelée *brainwriting* [26] où les participants notent toutes les idées qui leur viennent à l’esprit sans les exposer immédiatement aux autres participants. Cette variante est moins impactée par des facteurs sociaux qui pourraient réduire la participation de certaines personnes [26]. Après 10 minutes de réflexion, les idées ont été partagées au reste du groupe et débattues pour générer plus d’idées, apporter des nuances et discuter des avantages et inconvénients de chaque mode d’interaction évoqué. Les participants ont finalement rempli un second questionnaire (Annexe A.2) où ils ont classé par ordre de préférence les modes d’interaction évoqués, renseigné leurs principaux avantages et inconvénients et attribué à chacun une note allant de 1 (très mauvais) à 5 (très bien) pour 6 critères d’utilisation : efficacité, faisabilité, efficacité, intuitivité, charge cognitive et charge physique.

3.2 Collection et analyse des données

Les deux sessions ont été enregistrées (format vidéo et audio). Les données ont été collectées à partir des réponses des participants aux deux questionnaires, des notes prises par le dernier auteur pendant le workshop et des enregistrements. Le premier auteur a réalisé l’analyse des données, avec vérifications du dernier auteur.

Concernant le premier objectif du workshop, nous avons collecté 12 scénarios (3 par participant). En fusionnant les scénarios identiques ou très similaires, nous avons restreint notre analyse à 5 scénarios. Un scénario a été supprimé de l’analyse car son application dans un contexte de téléexpertise était impossible pour des raisons de sécurité du patient.

Il s'agissait d'une situation où le novice appelait son mentor, situé dans le même hôpital, pour contrôler une hémorragie. Dans ces circonstances, l'assistance physique est possible et toujours préférable à une assistance à distance. Nous avons ensuite catégorisé les différents scénarios selon le but recherché en utilisant la téléexpertise (c.-à-d., quel est le besoin du novice?). Pour chacune de ces catégories, en se basant sur les dialogues produits par les jeux de rôle et les réponses des participants au questionnaire, nous avons identifié 3 types de situations où il semble exister des bénéfices à ce que le mentor puisse contrôler l'endoscope à distance et 2 où cette approche ne paraît pas pertinente. Enfin, en comparant les 5 scénarios les uns aux autres, nous avons créé une catégorisation de haut niveau décrivant les types de situations où le contrôle à distance de l'endoscope est pertinent et ceux où il ne l'est pas.

Concernant le second objectif, pour chaque mode d'interaction évoqué dans le Workshop 2, nous avons analysé leurs classements et les notes des facteurs d'utilisation et avons résumé les avantages et inconvénients identifiés par les participants. Etant donné que les deux sessions ont été conduites de manière indépendante, tous les participants n'ont pas renseigné leur opinion sur tous les modes d'interaction. En raison du faible effectif et des données manquantes inhérentes au format de l'étude, nous présentons de manière brute les classements et notes des critères d'utilisation des modes d'interaction de chaque participant puis nous nous livrons à une description qualitative de ces données.

4 RÉSULTATS

4.1 Bénéfices du contrôle à distance de l'endoscope en situation de téléexpertise chirurgicale

En contrôlant l'endoscope à distance, le mentor pourrait avoir une exploration du champ opératoire plus efficace, réduire la charge mentale et physique du novice lors de situations stressantes et mieux le guider dans la réalisation d'un geste technique. Cependant, lorsque l'exploration est limitée à une petite zone du champ opératoire ou pour certains buts éducatifs, le contrôle local de l'endoscope paraît suffisant voire préférable. Le seul écueil concernant la sécurité relevé par les participants est la possibilité de survenue de conflits externes entre le bras robotique et le reste du matériel et des personnes en raison de l'absence de perception haptique du mentor situé à distance.

4.1.1 Une exploration du champ opératoire plus efficace. Pour tous les participants, le contrôle de l'endoscope à distance semble utile lorsque le mentor souhaite explorer un champ opératoire vaste et complexe. Cette situation requiert de nombreuses manipulations de l'endoscope pour obtenir différents angles de vue. En contrôlant directement l'endoscope, le mentor ne donne plus au novice des instructions qui pourraient être mal interprétées : « *il peut lui-même prendre ses repères et comprendre plus vite qui est quoi, c'est plus spontané* » (P2), « *sans passer par l'étape Montre-moi* » (P1). Une exploration du champ opératoire de meilleure qualité permettrait in fine des prises de décision mieux éclairées. P1 et P2 ont pris l'exemple d'un scénario où le novice demande conseil pour l'évaluation de la dissémination d'un cancer dans l'abdomen (champ large) et de l'invasion de structures anatomiques vitales (complexité) : « *typiquement la situation où sans téléexpertise on est obligé d'appeler le patron pour qu'il vienne voir* » (P1). Cependant, d'après les participants, ce contrôle à distance n'est pas utile lorsqu'il s'agit d'explorer des zones restreintes du champ opératoire pour répondre à une question précise. Dans ce cas, le contrôle local par le novice est suffisant car il n'y a pas besoin d'adopter de multiples angles de vue : « *Quand tu es appelé, tu es dans une zone où on te montre tout ce qu'il y a à voir* » (P3). P3 et P4 ont pris l'exemple d'un scénario où le novice demande au mentor : « *Où dois-je couper le pancréas pour être sûr d'enlever toute la tumeur?* ». Ici, les structures anatomiques sont identifiées mais le novice cherche à optimiser sa chirurgie : la téléexpertise est utile pour collaborer autour d'images chirurgicales mais leur construction n'est pas problématique.

	Position	P1 (W1)	P2 (W1)	P3 (W2)	P4 (W2)
Classement des modes d'interaction	1ère	Souris/Clavier	Écran tactile	Écran tactile	Joystick
	2ème	Écran tactile	Souris/Clavier	Souris/Clavier	Écran tactile
	3ème	Joystick	Joystick	Contrôle vocal	Souris/Clavier
	4ème	Jumeau numérique	Jumeau numérique	Joystick	<i>Contrôle vocal?</i>

TABLE 2 – Classements des modes d'interaction par chaque participant.

4.1.2 *Soulager le novice d'une charge mentale et physique.* Une remarque intéressante des participants était que le contrôle à distance de l'endoscope par le mentor pouvait permettre au novice d'être soulagé d'une charge mentale et physique en cas de situation stressante. La téléexpertise est parfois requise dans des situations de complications peropératoires lorsqu'un chirurgien a commis une erreur et qu'il ne sait pas comment la résoudre. Il s'agit de situations extrêmement stressantes pour l'opérateur. Si le contrôle de l'endoscope est délégué au mentor pendant qu'il tente de comprendre la situation, le chirurgien local peut se défaire d'une charge mentale et physique, « *prendre du recul et se sortir de la situation* » (P2). Ce concept a été évoqué dans les deux sessions du workshop à travers l'exemple d'une plaie de la voie biliaire principale lors d'une cholécystectomie (c.-à-d., lésion d'un conduit essentiel lors d'une opération de la vésicule biliaire). Cette complication est potentiellement très grave et nécessite l'intervention d'un expert pour la prendre en charge correctement. Dans cette situation le chirurgien local peut être décontenancé à cause de sa culpabilité et de l'urgence de la situation. Déléguer le contrôle de l'endoscope à l'expert pour « *voir les choses différemment* » (P1) permettrait au chirurgien local de « *faire une pause et se recharger* » (P2).

4.1.3 *Guider la réalisation d'un geste technique.* Ce contrôle à distance semble également utile dans certaines situations où le novice doit être guidé dans la réalisation d'un geste technique. Déléguer le contrôle de l'endoscope à l'expert permet au novice de se concentrer uniquement sur la manipulation des tissus et de suivre pas à pas les instructions qu'il reçoit : « *un mentoring constant* » (P4). P4, ayant une expérience chirurgicale en zones reculées, a partagé le scénario d'un chirurgien militaire devant réaliser en urgence une intervention qu'il n'a jamais pratiquée. Dans cette situation, en contrôlant l'endoscope à distance, le mentor pourrait agir « *comme si c'était l'aide sur place* » (c.-à-d., chirurgien chargé de manipuler l'endoscope) tout en guidant pas à pas le novice. Cependant, cette approche pourrait être limitante sur le plan éducatif car une série de commandes explicites permettant de reconnaître les structures anatomiques serait supprimée et le novice aurait plus de mal à comprendre l'intervention : « *Comme il ne passe pas par la phase 'tu montres ci tu montres ça', moi je ne peux pas forcément comprendre toutes les étapes. Si je fais moi-même, je suis moins passive* » (P2).

4.2 Interagir à distance avec l'endoscope robotisé

La seconde phase, en regroupant les deux sessions, a évalué cinq modes d'interaction. Les participants ont semblé préférer l'écran tactile et la souris d'ordinateur associée au clavier (tableau 2). Toutes les données brutes permettant l'analyse qualitative que nous présentons ci-après sont résumées dans un tableau annexe.

4.2.1 *Écran tactile.* L'écran tactile était classé premier par deux participants et deuxième par les deux autres. A l'exception de P3 qui a considéré ce mode d'interaction comme « 3-moyen », les participants l'ont très bien noté pour tous les facteurs d'utilisation : efficacité (notes = 4, 5, 5, 3, respectivement), efficacité (5, 4, 5, 3), intuitivité (5, 4, 5, 3), charge cognitive (4, 4, 5, 4) et charge physique (5, 5, 5, 3); bien que P2 considère la faisabilité comme « 1-très mauvaise » (5, 1, 5, 4). Ses avantages étaient pour eux sa simplicité d'utilisation et sa portabilité, permettant de l'utiliser partout

et à n'importe quel moment « *J'imagine vraiment le chirurgien expert coincé dans le métro, et en fait il a tout sur son téléphone* » (P1). « *Tu peux être chez toi, sur ton repos de garde* » (P2), « *Ou dans une autre salle d'opération* » (P1), « *On t'appelle et tu es immédiatement disponible* » (P1). Le principal inconvénient énoncé par les participants était la petite taille de l'écran qui selon eux pourrait impacter la qualité de l'image et empêcher d'être plusieurs à regarder le même écran.

4.2.2 Souris d'ordinateur et clavier. La souris d'ordinateur associée au clavier a été également jugée pertinente par tous les participants. Ce mode d'interaction a été considéré moyennement intuitif (5, 4, 3, 3) et efficace (4, 3, 3, 3) avec une charge cognitive modérée (4, 3, 3, 4); mais P1 et P2 l'ont tout de même jugé très efficace (5, 5, 3, 3) avec une faible charge physique (5, 5, 4, 3). Malgré des notes moyennes sur les critères d'utilisation, son avantage majeur est d'être très accessible. « *C'est super facile à utiliser, peu importe où tu es. Tu as l'habitude d'utiliser ton ordinateur* » (P2). « *Tout le monde en a un* » (P3). Le principal désavantage évoqué par les participants était sa non-portabilité en cas d'utilisation d'un ordinateur de bureau. Cela explique peut-être sa notation hétérogène en terme de faisabilité (5, 2, 3, 4).

4.2.3 Joystick. Les participants étaient partagés sur l'utilisation d'un joystick malgré une excellente notation pour tous les critères d'utilisation. Ils ont apprécié son caractère hautement intuitif (5, 5, 5, 5) et efficace (4, 5, 5, 5) permettant une faible charge cognitive (5, 5, 5, 5) et physique (5, 5, 3, 4). Son efficacité (4, 5, 4, 4) et sa faisabilité étaient également bien notées (4, 5, 5, 4). « *C'est la première chose que j'ai imaginé. Comme dans un jeu vidéo. Le truc peut aller dans toutes les directions. Tout le monde a déjà utilisé un joystick* » (P1). « *En réalité c'est le plus simple* » (P3). « *C'est le plus intuitif* » (P4). Cependant ils ont émis des réserves : « *Sa limite c'est que tu ne l'as pas toujours sur toi. Et puis tu dois le connecter à quelque chose donc ça ajoute du matériel* » (P2). « *C'est un gros désavantage du joystick. C'est un objet en plus* » (P3).

4.2.4 Jumeau numérique. Dans le Workshop 1 a été discutée l'idée d'un jumeau numérique permettant à l'expert de manipuler à distance une reproduction de l'endoscope. Seuls P1 et P2 ont noté ce mode d'interaction. Ils l'ont classé en dernière position. Cette option a été perçue comme très intuitive (5, 5) et efficace (4, 4), déchargeant le mentor de toute contrainte cognitive (5, 5) puisque d'après P1, « *C'est comme si tu étais dans la salle d'opération. Le plus simple c'est de faire ce qu'on fait normalement* ». Cependant, une contrainte majeure relevée était le délai entre le mouvement du bras du mentor à distance et le mouvement du bras robotique en salle d'opération en l'absence de vitesses équivalentes. De plus, P2 a ajouté que « *C'est très contraignant pour le chirurgien expert de devoir se déplacer dans une salle spéciale pour aller donner des conseils* ». P1 a renchéri « *Ça veut dire que tu as une table avec ton simulateur posé dessus* ». Ces remarques expliquent probablement les notes moyennes en termes d'efficacité (3, 4), de faisabilité (3, 4) et de charge physique (3,4).

4.2.5 *Contrôle vocal.* Dans le Workshop 2, P3 a proposé l'utilisation du contrôle vocal, l'ayant déjà expérimenté avec satisfaction en utilisant le robot AESOP [1] pour opérer seul. Il l'a classé troisième, devant le joystick et noté « 4-bien » sur tous les critères d'utilisation, sauf la charge physique qu'il a considéré « 5-très bien ». P4 n'a pas noté ce mode d'interaction : « *Je n'y aurais jamais pensé* ». Cependant dans un contexte de téléexpertise, le fait d'avoir les mains libres n'est pas nécessaire et P4 craignait des « *faux départs* » de l'endoscope par des erreurs de reconnaissance vocale. P3 a aussi admis « *J'articule mal donc il y a des fois où je devais me répéter et parler fort, c'était ennuyant* ».

5 DISCUSSION

Les systèmes de téléexpertise en chirurgie laparoscopique restent limités par des modalités de contrôle asymétriques entre le novice en salle d'opération et le mentor à distance, en particulier en ce qui concerne la construction de l'image du champ opératoire [18]. Cette étude est une première étape dans la réalisation d'un système de téléexpertise corrigeant ce problème d'asymétrie en permettant un contrôle à distance de l'endoscope.

Les bénéfices du contrôle de l'endoscope à distance nous apparaissent comme étroitement liés au travail nécessaire pour construire une vue appropriée du champ opératoire. Pour cela, le mentor peut choisir de guider à distance le novice oralement ou physiquement. Lorsque le mentor interprète aisément les images transmises par le novice, les instructions verbales sont probablement suffisantes. A l'inverse, lorsque le champ opératoire est compliqué à explorer et que guider oralement le novice devient fastidieux, le contrôle de l'endoscope à distance par le mentor semble avantageux. La complexité intrinsèque du champ opératoire à explorer n'est cependant pas le seul facteur influant sur la quantité de travail nécessaire à la construction d'une image chirurgicale permettant la bonne réalisation de l'intervention. La capacité du novice à partager efficacement au mentor les images du champ opératoire est liée à son expérience et à son niveau technique [17]. Elle est aussi liée à la disposition du novice à réaliser une tâche à un instant donné. Nos résultats montrent des bénéfices au contrôle à distance de l'endoscope pour décharger le novice mentalement et physiquement dans une situation stressante. Enfin, cela dépend du nombre et de la difficulté des tâches que le novice doit réaliser en parallèle. Le mentor peut ainsi demander au novice de se concentrer entièrement sur la manipulation des tissus tandis qu'il prend contrôle de l'endoscope. Le choix du mentor entre guider verbalement ou physiquement en fonction de son évaluation d'une situation de téléexpertise correspond aussi à un choix pédagogique. D'après la théorie de l'apprentissage cognitif [4], il choisit d'enseigner par *l'explication* ou par *la démonstration*. Cette capacité pour le mentor de choisir son mode d'assistance en fonction son appréciation d'une situation donnée n'a pas été démontrée dans l'utilisation d'autres outils de téléexpertise comme les télépointeurs [22].

Le contexte dans lequel un moyen de téléexpertise est utilisé impacte aussi la manière dont le mentor interagit à distance avec l'endoscope robotisé. La localisation et les occupations du mentor lorsqu'il est sollicité pour assister le novice à distance sont des éléments à considérer d'après les participants de notre étude. La pratique de la téléexpertise, bien qu'en plein essor [16], doit en effet s'intégrer au quotidien des chirurgiens déjà extrêmement sollicités [2]. Ainsi les participants ont semblé préférer interagir avec l'endoscope robotisé via des outils dont ils sont familiers et qui leurs sont facilement accessibles n'importe où et n'importe quand plutôt que d'utiliser un matériel dédié à la téléexpertise.

Les participants de l'étude n'ont pas soulevé de limites majeures en terme de sécurité d'emploi d'un endoscope à distance pour le patient. L'instrument inséré dans le corps étant une caméra, la réalisation d'un trajet "à l'aveugle" n'existe pas et le risque de lésion d'un organe semble par conséquent inexistant. Le principal risque évoqué est la possible existence de conflits externes entre le bras robotique et le matériel et les personnes à l'extérieur du corps du patient. Cela devra être pris en compte dans la conception d'un futur système de téléexpertise permettant le contrôle de l'endoscope à distance via un bras robotisé.

5.1 Limites de l'étude et travaux futurs

L'absence d'expérience des participants dans l'usage de systèmes de téléexpertise constitue une des limites de notre étude car leurs contributions étaient uniquement basées sur des expériences d'assistance locale. De plus, le faible nombre de participants aux workshops nous empêche de réaliser une liste exhaustive de scénarios cliniques et de modes de contrôles d'un endoscope robotisé. Néanmoins, nos résultats contribuent à la réalisation de nos futurs travaux. Notre prochaine étape est la réalisation d'une étude expérimentale comparant le contrôle de l'endoscope à distance par l'expert à son contrôle local par le novice. Nous concevons des tâches simulant une situation de téléexpertise en chirurgie laparoscopique en s'inspirant des éléments qui rendent bénéfiques le contrôle distant de l'endoscope. Nous utiliserons également les données de ce workshop pour concevoir l'interface qui permettra au mentor d'interagir avec l'endoscope robotisé. Cette étude permettra aussi de détecter de possibles écueils sur la sécurité d'emploi d'un endoscope à distance, non décelés au cours des workshops. Des études supplémentaires comparant différents modes d'interaction entre eux seront néanmoins nécessaires, une fois l'utilité du contrôle distant prouvé, pour développer un système de téléexpertise offrant au mentor la possibilité d'un contrôle à distance de l'endoscope.

6 CONCLUSION

Ce travail souligne l'importance du contexte dans lequel s'inscrit l'usage d'un système de téléexpertise. Quel est le problème du chirurgien local ? Quelle est la complexité du champ opératoire à explorer ? Quel est le niveau d'expertise du chirurgien local ? Où l'expert est-il actuellement situé ? Tous ces éléments combinés réalisent une variété de situations cliniques où le contrôle à distance de l'endoscope peut être pertinent ou non et qu'il convient au mentor d'évaluer pour assister au mieux le novice.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été financé par le Labex CAMI (projet ANR-11-LABX-0004), programme Investissement d'Avenir.

RÉFÉRENCES

- [1] M. E. Allaf, S. V. Jackman, P. G. Schulam, J. A. Cadeddu, B. R. Lee, R. G. Moore, and L. R. Kavoussi. 1998. Laparoscopic visual field. Voice vs foot pedal interfaces for control of the AESOP robot. *Surgical Endoscopy* 12, 12 (Dec. 1998), 1415–1418. <https://doi.org/10.1007/s004649900871>
- [2] Andrius Budrionis, Gunnar Hartvigsen, Rolv-Ole Lindsetmo, and Johan Gustav Bellika. 2015. What device should be used for telementoring? Randomized controlled trial. *International Journal of Medical Informatics* 84, 9 (Sept. 2015), 715–723. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2015.05.004>
- [3] G. F. Buess, A. Arezzo, M. O. Schurr, F. Ulmer, H. Fisher, L. Gumb, T. Testa, and C. Nobman. 2000. A new remote-controlled endoscope positioning system for endoscopic solo surgery. The FIPS endoarm. *Surgical Endoscopy* 14, 4 (April 2000), 395–399. <https://doi.org/10.1007/s004640020066>
- [4] Allan Collins. 2006. Cognitive Apprenticeship. In *The Cambridge handbook of: The learning sciences*. Cambridge University Press, New York, NY, US, 47–60.
- [5] Bassim El-Sabawi and William Magee. 2016. The evolution of surgical telementoring : current applications and future directions. *Annals of Translational Medicine* 4, 20 (Oct. 2016), 391. <https://doi.org/10.21037/atm.2016.10.04>
- [6] Yuanyuan Feng, Katie Li, Azin Semsar, Hannah McGowan, Jacqueline Mun, H. Reza Zahiri, Ivan George, Adrian Park, Andrea Kleinsmith, and Helena M. Mentis. 2019. Communication Cost of Single-user Gesturing Tool in Laparoscopic Surgical Training. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, Glasgow Scotland Uk, 1–12. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300841>
- [7] Yuanyuan Feng, Hannah McGowan, Azin Semsar, Hamid R. Zahiri, Ivan M. George, Adrian Park, Andrea Kleinsmith, and Helena Mentis. 2020. Virtual pointer for gaze guidance in laparoscopic surgery. *Surgical Endoscopy* 34, 8 (Aug. 2020), 3533–3539. <https://doi.org/10.1007/s00464-019-07141-x>
- [8] Yuanyuan Feng, Hannah McGowan, Azin Semsar, Hamid R. Zahiri, Ivan M. George, Timothy Turner, Adrian Park, Andrea Kleinsmith, and Helena M. Mentis. 2018. A virtual pointer to support the adoption of professional vision in laparoscopic training. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery* 13, 9 (Sept. 2018), 1463–1472. <https://doi.org/10.1007/s11548-018-1792-9>
- [9] Yuanyuan Feng and Helena M. Mentis. 2016. Supporting Common Ground Development in the Operation Room through Information Display Systems. *AMIA ... Annual Symposium proceedings. AMIA Symposium 2016 (2016)*, 1774–1783.

- [10] P.A. Finlay and M.H. Ornstein. 1995. Controlling the movement of a surgical laparoscope. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine* 14, 3 (May 1995), 289–291. <https://doi.org/10.1109/51.391775> Conference Name : IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine.
- [11] Sonja Gillen, Benedikt Pletzer, Arthur Heiligensetzer, Petra Wolf, Jörg Kleeff, Hubertus Feussner, and Alois Fürst. 2014. Solo-surgical laparoscopic cholecystectomy with a joystick-guided camera device : a case-control study. *Surgical Endoscopy* 28, 1 (Jan. 2014), 164–170. <https://doi.org/10.1007/s00464-013-3142-x>
- [12] Andrew A. Gumbs, Fernando Crovari, Clement Vidal, Patrick Henri, and Brice Gayet. 2007. Modified robotic lightweight endoscope (ViKY) validation in vivo in a porcine model. *Surgical Innovation* 14, 4 (Dec. 2007), 261–264. <https://doi.org/10.1177/1553350607310281>
- [13] Sebastian W. Holländer, Hans Joachim Klingen, Marliese Fritz, Peter Djalali, and Dieter Birk. 2014. Robotic Camera Assistance and Its Benefit in 1033 Traditional Laparoscopic Procedures : Prospective Clinical Trial Using a Joystick-guided Camera Holder. *Surgical Technology International* 25 (Nov. 2014), 19–23.
- [14] Dylan P. Losey, Craig G. McDonald, Edoardo Battaglia, and Marcia K. O'Malley. 2018. A review of intent detection, arbitration, and communication aspects of shared control for physical human–robot interaction. *Applied Mechanics Reviews* 70, 1 (2018), 010804. <https://asmedigitalcollection.asme.org/appliedmechanicsreviews/article-abstract/70/1/010804/443697> Publisher : American Society of Mechanical Engineers.
- [15] Sophie Maria, Helena M. Mentis, Geoffroy Canlorbe, and Ignacio Avellino. 2023. Supporting Collaborative Discussions In Surgical Teleconsulting Through Augmented Reality Head Mounted Displays. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, Hamburg Germany, 1–13. <https://doi.org/10.1145/3544548.3580714>
- [16] John G. Meara, Andrew JM Leather, Lars Hagander, Blake C. Alkire, Nivaldo Alonso, Emmanuel A. Ameh, Stephen W. Bickler, Lesong Conteh, Anna J. Dare, and Justine Davies. 2015. Global Surgery 2030 : evidence and solutions for achieving health, welfare, and economic development. *The lancet* 386, 9993 (2015), 569–624. [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(15\)60160-X/fulltext?elsca4=Public+Health%7CInfectious+Diseases%7CHealth+Policy%7CInternal%2FFamily+Medicine%7CGeneral+Surgery%7CLancet](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(15)60160-X/fulltext?elsca4=Public+Health%7CInfectious+Diseases%7CHealth+Policy%7CInternal%2FFamily+Medicine%7CGeneral+Surgery%7CLancet) Publisher : Elsevier.
- [17] Helena M. Mentis, Amine Chellali, and Steven Schwaitzberg. 2014. Learning to see the body : supporting instructional practices in laparoscopic surgical procedures. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '14)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2113–2122. <https://doi.org/10.1145/2556288.2557387>
- [18] Helena M. Mentis, Yuanyuan Feng, Azin Semsar, and Todd A. Ponsky. 2020. Remotely Shaping the View in Surgical Telementoring. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '20)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1–14. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376622>
- [19] Todd A. Ponsky, Marc Schwachter, Jennifer Parry, Steven Rothenberg, and Knut Magne Augestad. 2014. Telementoring : the surgical tool of the future. *European Journal of Pediatric Surgery : Official Journal of Austrian Association of Pediatric Surgery ... [et Al] = Zeitschrift Fur Kinderchirurgie* 24, 4 (Aug. 2014), 287–294. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1386646>
- [20] Pragathi Praveena, Michael Gleicher, and Bilge Mutlu. 2023. Designing Robotic Camera Systems to Enable Synchronous Remote Collaboration. In *Companion of the 2023 ACM/IEEE International Conference on Human–Robot Interaction*. ACM, Stockholm Sweden, 751–753. <https://doi.org/10.1145/3568294.3579974>
- [21] Daniel Rakita, Bilge Mutlu, and Michael Gleicher. 2019. Remote telemanipulation with adapting viewpoints in visually complex environments. *Robotics : Science and Systems XV* (2019). <https://par.nsf.gov/biblio/10104548>
- [22] Edgar Rojas-Muñoz, Maria E. Cabrera, Chengyuan Lin, Daniel Andersen, Voicu Popescu, Kathryn Anderson, Ben L. Zarzaur, Brian Mullis, and Juan P. Wachs. 2020. The System for Telementoring with Augmented Reality (STAR) : A head-mounted display to improve surgical coaching and confidence in remote areas. *Surgery* 167, 4 (April 2020), 724–731. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2019.11.008>
- [23] Jwawon Seo, Ignacio Avellino, Damaruka Priya Rajasagi, Anita Komlodi, and Helena M. Mentis. 2022. HoloMentor : Enabling Remote Instruction through Augmented Reality Mobile Views. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction* 7, GROUP (Dec. 2022), 1. <https://doi.org/10.1145/3567561>
- [24] Dehlela Shabir, Nihal Abdurahiman, Jhasketan Padhan, Malek Anbatawi, May Trinh, Shidin Balakrishnan, Abdulla Al-Ansari, Elias Yaacoub, Zhigang Deng, Aiman Erbad, Amr Mohammed, and Nikhil V. Navkar. 2022. Preliminary design and evaluation of a remote tele-mentoring system for minimally invasive surgery. *Surgical Endoscopy* 36, 5 (May 2022), 3663–3674. <https://doi.org/10.1007/s00464-022-09164-3>
- [25] Jens-Uwe Stolzberg, Toni Franz, Panagiotis Kallidonis, Do Minh, Anja Dietel, James Hicks, Martin Nicolaus, Abdulrahman Al-Aown, and Evangelos Liatsikos. 2011. Comparison of the FreeHand® robotic camera holder with human assistants during endoscopic extraperitoneal radical prostatectomy. *BJU international* 107, 6 (March 2011), 970–974. <https://doi.org/10.1111/j.1464-410X.2010.09656.x>
- [26] Arthur B. VanGundy. 1984. Brain writing for new product ideas : an alternative to brainstorming. *Journal of Consumer Marketing* 1, 2 (1984), 67–74. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/eb008097/full/html> Publisher : MCB UP Ltd.

A QUESTIONNAIRES DU WORKSHOP

A.1 Phase 1

Pour chaque scénario, les participants ont répondu à ce questionnaire :

- Quels pourraient être les avantages d'un endoscope contrôlable à distance en termes de :
 - Communication ?
 - Transmission de savoir (apprentissage) ?
 - Réalisation efficace et sûre de la tâche par le novice ?
 - Pourquoi ?
- Quelles seraient les limites de ce système en termes de
 - Communication ?
 - Transmission de savoir (apprentissage) ?
 - Réalisation efficace et sûre de la tâche par le novice ?
 - Pourquoi ?
- Avez-vous des commentaires supplémentaires ?

A.2 Phase 2

Pour chaque mode d'interaction, les participants devaient remplir ce tableau. Ils devaient attribuer une note variant de 1 à 5 pour chacun des 6 critères d'utilisation (1=très mauvais, 2=mauvais, 3=moyen, 4=bien, 5=très bien). Il leur était demandé de classer les modes d'interaction par ordre de préférence en prenant en compte tous les critères d'évaluation. Ils devaient lister les avantages et inconvénients de chaque interface.

Interface	Avantages	Inconvénients
Nom :		
Rang : .../...		
Efficiace : .../5		
Faisabilité : .../5		
Efficacité : .../5		
Intuitivité : .../5		
Charge cognitive : .../5		
Charge physique : .../5		

A.3 Données brutes de la phase 2

	Efficience				Faisabilité				Efficacité				Intuitivité				Charge cognitive				Charge physique				Rang			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
Écran tactile	4	5	5	3	5	1	5	4	5	4	5	3	5	4	5	3	4	4	5	4	5	5	5	3	2	1	1	2
Souris/Clavier	5	5	3	3	5	2	3	4	4	3	3	3	5	4	3	3	4	3	3	4	5	5	4	3	1	2	2	3
Joystick	4	5	5	5	4	5	4	4	4	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	4	3	3	4	1
Jumeau numérique	3	4	X	X	3	4	X	X	4	4	X	X	5	5	X	X	5	5	X	X	3	4	X	X	4	4	X	X
Contrôle vocal	X	X	4	X	X	X	4	X	X	X	4	X	X	X	4	X	X	X	4	X	X	X	5	X	X	X	3	X

FIG. 1 – Notes des critères d'utilisation et classements par ordre de préférence des modes de contrôle par chaque participant.