



Les modèles sont imprimés et seront utilisés pour permettre des isomoulages indirects et le transfert en bouche des nouvelles anatomies. La prothèse amovible provisoire est polymérisée sur un duplicata.

Un enregistrement est ré-effectué à la fin de l'étape provisoire. Le traitement a consisté en l'élévation de la DVO et réalisation d'une prothèse composite **Fig. 7 et 8**. Dans ce cas et en plus de la validation du patient, nous obtenons des cycles de mastication semblant réguliers et ayant de nombreuses similitudes avec des cycles de mastication sains. De plus nous pouvons en parallèle vérifier la qualité

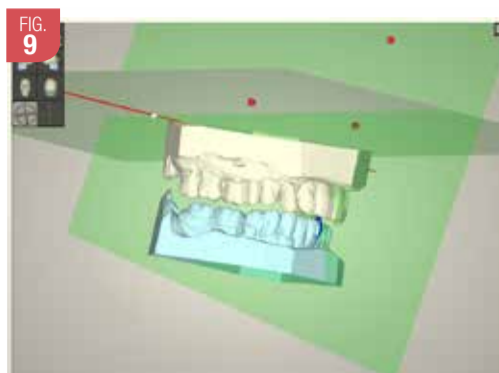


Situation occlusale validée par le patient et le praticien lors de l'étape provisoire.

des guidages au niveau des modèles 3D des arcades dentaires. Nous validons cette situation occlusale et décidons de la maintenir et de l'optimiser pour la phase définitive **Fig. 9**.

Conclusion

Demain nous pouvons espérer que ces outils basés sur les mouvements réels du patient



Un contrôle électronique de l'occlusion est de nouveau réalisé afin de valider la qualité des contacts dentaires et du cycle fonctionnel de mastication.

remplacent enfin l'articulateur conçu pour reproduire les mouvements limites. L'évolution de notre pratique vers le numérique fait que ces outils trouveront naturellement leur place au sein du plateau technique et nous offriront de nouveaux domaines d'expertises.

Bibliographie

1. -Farrar W.B., Mccarty W.L. A clinical outline of tem-

poromandibular joint diagnosis and treatment. Normandie Study Group for TMJ Dysfunction. 7th ed. Montgomery (AL): Normandie Pub 1982

2. -Ahlgren, J. Mechanism of mastication: A quantitative cinematographic and electromyographic study of masticatory movements in children, with special reference to occlusion of the teeth. Acta odont. scandinav. 24: Supp. 44, 1966



Inventons la chirurgie du futur

Jacques MARESCAUX, Guillaume MARESCAUX, Michele DIANA
Strasbourg

Introduction

Depuis environ 3 décennies, l'avènement des techniques mini-invasives a profondément révolutionné la pratique de la chirurgie. La chirurgie mini-invasive, se pratique profondément à travers de petites incisions permettant l'introduction d'une caméra et de microinstruments. Cette approche, génère un traumatisme moindre et des bénéfices largement prouvés pour le patient, en termes de réduction de douleur et de morbidité postopératoire, tout en respectant les principes fondamentaux de la chirurgie « classique »^[1, 2]. Le développement des techniques mini-invasives a été influencé par les progrès spectaculaires des dispositifs chirurgicaux, notamment des caméras à haute-définition et de nouveaux instruments utilisés pour disséquer et coaguler les tissus.

Des progrès aussi impressionnants ont été observés dans le domaine de la radiologie ayant pris un tournant interventionnel. Les techniques d'imagerie modernes permettent d'obtenir des clichés très précis du corps humain et nombreuses pathologies, qui autrefois nécessitaient une exérèse chirurgicale peuvent désormais être abordées par les radiologues interventionnels, à l'aide de cathéters circulant dans les vaisseaux sanguins ou d'aiguilles percutanées réalisant des ablations guidées par l'image.

De même, l'endoscopie gastrointestinale a subi une mutation d'un outil purement diagnostique à une plate-forme d'intervention dans ou à travers la lumière intestinale. Les cancers gastrointestinaux précoces peuvent ainsi être traités efficacement par des résections endoluminales (comme par exemple, une résection muqueuse endoscopique ou une dissection sous-muqueuse endosco-

pique), en ambulatoire, plutôt que par abord chirurgical^[3]. Ce glissement de l'exérèse radicale d'organe à une résection de pathologie ciblée avec préservation d'organe permet de réduire la morbidité et la mortalité.

La fusion de la chirurgie mini-invasive, de l'endoscopie et de la radiologie interventionnelles en une modalité de traitement hybride, à savoir la chirurgie mini-invasive guidée par l'image, pourrait rallonger la liste de pathologies pouvant être prises en charge par traitements ciblés non-invasifs.

En 2012, nous avons lancé l'IHU de Strasbourg, une fondation scientifique, dédiée à la recherche clinique fondamentale et translationnelle autour de thérapies guidées par l'image, notre objectif étant de développer une nouvelle discipline hybride et de concevoir un programme d'enseignement permettant de promouvoir le profil d'un nouveau médecin, en intégrant les compétences d'un chirurgien mini-invasif, d'un radiologue interventionnel et d'un endoscopiste.

Les techniques mini-invasives ne sont pas intuitives et nécessitent un entraînement spécifique pour surmonter les défis intrinsèques. Par exemple, dans la chirurgie mini-invasive, l'opérateur est confronté à une perte de la proprioception haptique et du sens de la profondeur, étant donné que l'axe main-œil est désuni et que le champ opératoire est visualisé à travers un moniteur bidimensionnel. En plus, le retour d'information tactile est très limité, ce qui entraîne une perte d'information, comme par exemple, une raideur tissulaire, la présence d'un nodule ou d'une pulsation vasculaire. En endoscopie flexible, la difficulté principale avec les instruments actuellement disponibles, est d'obtenir une exposition correcte du « champ opératoire » et une traction-contretraction suffisante sur les tissus. Ces contraintes augmentent les temps opératoires et les risques de perforation et d'hémorragie. En radiologie interventionnelle, le

déplacement des organes dû à la respiration rend difficile la réalisation d'ablations ou de biopsies percutanées. De plus, les cathéters actuels pour les techniques endovasculaires disposent de très peu de degrés de liberté.

L'informatique et la robotique ont mis au point des technologies qui permettent d'optimiser ces limites de la chirurgie mini-invasive. Le concept de thérapie assistée par ordinateur (un mélange d'automatisation robotisée et de guidage par l'image) vise à faciliter ces techniques et à optimiser les performances de l'opérateur.

Quels sont les principaux défis et les potentielles solutions ?

Défi numéro 1

Une navigation optimisée pour des traitements ciblés et personnalisés utilisant la réalité virtuelle et augmentée : l'Œil Augmenté

L'informatique permet de naviguer virtuellement dans l'anatomie du patient afin d'identifier les structures importantes, les plans de dissection et les marges de résection grâce à la Réalité Virtuelle (RV). Les logiciels de RV à visée médicale sont capables d'élaborer un modèle virtuel 3D du patient à partir d'images en format DICOM (imagerie numérique et communication médicale) obtenues à partir d'un scanner ou de clichés IRM. Le modèle virtuel en 3D permet ainsi de réaliser une exploration virtuelle du corps humain et de déceler des détails anatomiques difficiles à repérer sur des clichés classiques^[4, 5]. Un traitement ciblé, qu'il soit chirurgical ou ablatif, peut être planifié et simulé sur le modèle virtuel avant de le réaliser sur le patient réel. En plus, à l'issue de la planification, le modèle de RV peut être superposé au cours de l'intervention sur les images réelles du patient, dans un procédé de superposition défini Réalité Augmentée (un mélange d'images syn-

thétiques et réelles). La Réalité Augmentée est un excellent moyen de navigation qui permet de visualiser les structures anatomiques délicates et inapparentes, comme les vaisseaux, grâce à une transparence modulaire virtuelle des organes [6-10] **(Fig. 1)**.

La première application clinique de la réalité augmentée en chirurgie viscérale a été réalisée par notre groupe à l'IRCAD, pour guider la surrenalectomie laparoscopique^[6]. La réalité augmentée a permis de guider le chirurgien et déterminer la position des vaisseaux surrenaliens ainsi que la localisation de la tumeur avec une marge d'erreur maximale de 2 mm. Le logiciel (VR-RENDER®) développé à l'IRCAD, outre le fait qu'il permet de visualiser les plans de résection et qu'il aide à planifier l'intervention, peut aussi calculer les volumes de résection, comme en cas de résections hépatiques mini-invasives^[10] **(Fig. 2)**. Plus récemment, nous avons utilisé avec succès la réalité augmentée pour guider la résection lors d'une duodénocéphalopancréatectomie^[7, 9].

La Réalité Augmentée, tant en chirurgie qu'en radiologie interventionnelle^[11], est compliquée par les mouvements respiratoires et de la déformation des tissus mous lors des manipulations, qui rendent difficile le processus d'enregistrement (superposition parfaite des images synthétiques et réelles). Nous travaillons actuellement sur 2 approches différentes pour assurer une reconstruction anatomique précise et flexible de la superposition virtuel/réel. Une première approche est la prédiction du déplacement d'organe^[12] intégrant les propriétés biomécaniques des organes^[13] et en simulant la déformation^[14] grâce au suivi en temps réel des mouvements superficiels de la peau par lumière structurée. Une alternative que nous explorons, est de « mettre à jour » le modèle virtuel du patient en temps réel grâce au système d'imagerie robotisée Artis Zeego DynaCT (Siemens Healthcare) couplé à un système de guidage électromagnétique mis au point à l'IRCAD^[15].



Jacques MARESCAUX

Défi numéro 2

L'amélioration de la voie d'abord mini-invasive

Tout comme l'endoscopie rigide, l'endoscopie flexible a évolué depuis les premières polypectomies jusqu'aux nouvelles techniques de dissections sous-muqueuses (ESD) ou la technique POEM (myotomie per-orale endoscopique) pour traiter les troubles de la déglutition (achalasie) « sans cicatrices », développée par le Dr. Inoue.^[16, 17]

La chirurgie NOTES, chirurgie sans cicatrice, est un concept fascinant et révolutionnaire qui repousse les limites techniques de la chirurgie mini-invasive. La chirurgie NOTES implique une incision planifiée à travers la paroi d'orifices naturels pour accéder à la cavité péritonéale et réaliser une intervention chirurgicale sans incision cutanée^[18].

A l'IRCAD, nous avons débuté un programme

de recherche sur NOTES en 2004 et après avoir préparé le terrain avec plus de 400 interventions expérimentales, nous avons réalisé la première cholécystectomie transvaginale « sans cicatrices » en 2007^[19] et la première cholécystectomie transgastrique^[20]. Bien que ces expériences initiales aient été réalisées avec succès, elles ont pointé les multiples défis à relever. Les chirurgies NOTES sont limitées par la technologie actuelle et par les endoscopes flexibles disponibles à ce jour sur le marché. Ces endoscopes sont trop flexibles pour faciliter la traction et ils n'offrent pas la possibilité de triangulation des instruments pour exercer une traction contre-traction.

La chirurgie NOTES est actuellement développée dans deux axes : Le premier est représenté par la technique POEM^[21], déjà brillamment réalisée dans plusieurs centaines de cas et qui se substitue aujourd'hui à la myotomie de Heller dans notre unité de chirurgie. Le deuxième est l'abord transanal en chirurgie

colorectale, par des interventions hybrides, décrites par des chirurgiens pionniers^[22-25]. Ceci permet d'accéder directement à la cavité péritonéale avec vue directe et permet l'extraction de pièces opératoires volumineuses^[26-27-28-29-30]. Tout dernièrement, à l'IRCAD nous avons réalisé une première mondiale en NOTES, à savoir une excision totale du mésorectum par voie d'abord totalement transanale sans cicatrice dans le cas d'un cancer du rectum^[31]. Cet exploit était basé sur les expérimentations qui ont permis de mettre au point la technique baptisée PROGRESS (PeriRectal Oncologic Gateway for Retroperitoneal Endoscopic Single-Site Surgery)^[32] ou encore chirurgie endoscopique rétropéritonéale à incision unique par accès oncologique périrectal.

Bien que d'importantes fonctionnalités ont été ajoutées à la boîte à outils de la chirurgie NOTES, par exemple le système de suture endoscopique OverStitch™ (Apollo Endo-

surgery)^[33], que nous utilisons actuellement pour fixer les prothèses endoscopiques^[34], l'absence d'instruments permettant la fusion tissulaire et l'agrafage compatibles avec l'endoscopie flexible, représente un vide à combler pour faciliter la dissémination de la chirurgie NOTES : C'est pourquoi nous avons développé deux nouvelles plate-formes chirurgicales endoscopiques l'Anubiscope® et l'IsisScope® (Karl Storz Endoskope, Tuttlingen, Allemagne). Ces plateformes ont été conçues pour la chirurgie NOTES, pour la chirurgie LESS (chirurgie laparoendoscopique à incision unique)^[35] et pour la chirurgie endoluminale. Les prototypes sont munis de deux canaux opérateurs de 4,3 mm et d'un système à double charnière permettant la triangulation avec des instruments flexibles spécifiquement conçus : porte-aiguilles, pinces à préhension et crochet monopolaire diathermique. Ces plate-formes ont été utilisées avec succès dans un contexte expérimental pour la chirurgie NOTES et pour des interventions endoluminales, comme l'ESD^[36]. Tout dernièrement, l'IsisScope® a été utilisé pour réaliser une cholécystectomie par chirurgie LESS chez l'homme^[37].

Défi numéro 3

Améliorer la ROBOTIQUE : la main augmentée

Le 21e siècle a été le témoin de l'application clinique des premières plate-formes de télémanipulation pour « chirurgie robotique ». Le robot chirurgical actuellement sur le marché (DaVinci, Surgical Intuitive) est constitué par une console équipée d'une caméra stéréoscopique haute définition, capable d'agrandir dix fois une image, et d'interfaces haptiques intuitive pour contrôler 4 bras robotisés. Les bras robotisés sont dotés de multiples articulations permettant d'offrir 7 degrés de liberté et reproduire les mouvements de la main, et peuvent être équipés de différents instruments. L'interface électronique permet d'éliminer les tremblements physiologiques du chirurgien et assure une dissection plus précise en comparaison avec la laparoscopie classique. En outre, la robotique a permis le concept de « téléchirurgie » : effectuer des opérations à distance entre continents, comme l'a démontré l'Opération Lindbergh en 2001. L'opération Lindbergh réalisée était une cholécystectomie effectuée depuis New York sur une patiente se trouvant à Strasbourg^[38]. Cet exploit a ouvert la voie à des concepts auxiliaires comme le « telecompagnonnage » et le téléapprentissage, brisant ainsi toute barrière géographique et facilitant le partage du savoir chirurgical n'importe où dans le monde.

A l'IRCAD et à l'IHU de Strasbourg, nous travaillons en étroite collaboration avec la société Karl Storz et le laboratoire iCube (ingénierie, imagerie et informatique, UMR 7357, Télécom Physique, Strasbourg) afin de développer un prototype robotique de l'Isiscope®/Anubiscope® et surmonter certaines des limites actuellement posées par la chirurgie robotique. La dernière version du robot, le STRAS (Single-access Transluminal Robotic Assistance for Surgeons)^[39] (Fig. 3), a récemment été testé avec succès dans des dissections sous-muqueuses endoscopiques *in vivo* expérimentales sur mini-porc.

De même, la robotique peut aider les radiologistes interventionnels à effectuer des opérations endovasculaires avancées. Le système robotique endo-vasculaire Magellan™ permet un contrôle précis de l'extré-

AIR COMPRIMÉ | ASPIRATION | IMAGERIE | ODONTOLOGIE CONSERVATRICE | HYGIÈNE

Le premier jalon d'une nouvelle ère. Hygoclave 90 avec technologie DuraSteam.



L'Hygoclave 90 sonne l'avènement d'une nouvelle ère pour les méthodes de stérilisation : celle de la technologie DuraSteam. Une conquête innovante qui convainc par ses caractéristiques remarquables : sa longévité, sa sécurité contre les défaillances, son entretien facile - autant de qualités qui la rendent particulièrement économique.

Pour en savoir plus, rendez-vous sur www.duerrdental.com

Dispositif Médical de classe IIB CE0297
Nous vous invitons à lire attentivement les instructions figurant sur les notices.
Produits non remboursés par les organismes de santé.

**DÜRR
DENTAL**
LE MEILLEUR, TOUT UN SYSTÈME



mité du cathéter et s'avère de grande utilité lors d'opérations complexes telles qu'une réparation d'anévrismes^[40].

Notre but est de promouvoir les nouvelles techniques hybrides en identifiant des applications cliniques avec des avantages évidents par rapport aux approches mono-compartimentales^[41]. Ceci nécessite :

- de restructurer l'organisation du bloc opératoire afin d'intégrer un ou plusieurs systèmes d'imagerie pour effectuer des opérations ciblées;
- de former le « médecin hybride ».

L'IRCAD (Institut de Recherche contre les Cancers de l'Appareil Digestif) est impliqué dans l'éducation en chirurgie mini-invasive depuis 1994. Depuis les 20 dernières années, plus de 4000 chirurgiens ont chaque année l'opportunité d'être formés par des experts mondialement renommés, sur les différents aspects des techniques de chirurgie mini-invasive. Le noyau du contenu des cours, composé de modules théoriques et pratiques en chirurgie laparoscopique et robotique, est constamment actualisé afin de suivre et/ou d'anticiper les tendances. Le succès grandissant de la méthode de formation IRCAD et les retours positifs des participants, nous ont mené à globaliser le concept avec l'ouverture de deux instituts miroirs de l'IRCAD à Taïwan (en 2008) et au Brésil (en 2011).

Dans la continuité de cette mission de formation, l'IRCAD et l'IHU de Strasbourg ont comme objectif de former la prochaine génération de médecins hybrides. Cette nouvelle génération de médecins concevra et utilisera des instruments et des techniques de chirurgie hybride, issus de ressources multidisciplinaires en médecine guidée par l'image, afin d'offrir des soins optimaux aux patients avec le moins de traumatismes possibles liés à l'abord chirurgical.

Conclusion : la fusion des thérapies mini-invasives guidées par l'image

L'avenir de la chirurgie reposera sur un mélange subtil de techniques assistées par ordinateur, de guidage par l'image et de robotique avec pour objectif principal l'amélioration de la sécurité du patient et la qualité de vie. La chirurgie, la gastro-entérologie et la radiologie ont indépendamment contribué au développement de techniques avancées. La possibilité d'associer les meilleures caractéristiques de ces techniques afin de créer une approche hybride permettra d'optimiser les bénéfices pour les patients. Ce nouveau paradigme hybride nécessitera un changement radical au sein du bloc opératoire en termes de concept et d'installation, afin d'y intégrer des outils d'imagerie nécessaires au guidage du geste chirurgical.

Références bibliographiques

- Lacy AM, Garcia-Valdecasas JC, Delgado S, Castells A, Taura P, Pique JM, Visa J (2002) Laparoscopy-assisted colectomy versus open colectomy for treatment of non-metastatic colon cancer: a randomised trial. *Lancet* 359:2224-2229
- Veldkamp R, Kuhry E, Hop WC, Jeekel J, Kazemier G, Bonjer HJ, Haglind E, Pahlman L, Cuesta MA, Miska S, Morino M, Lacy AM (2005) Laparoscopic surgery versus open surgery for colon cancer: short-term outcomes of a randomised trial. *The Lancet Oncology* 6:477-484
- Fujishiro M, Yahagi N, Kakushima N, Kodashima S, Muraki Y, Ono S, Yamamichi N, Tateishi A, Oka M, Ogura K, Kawabe T, Ichinose M, Omata M (2007) Outcomes of endoscopic submucosal dissection for colorectal epithelial neoplasms in 200 consecutive cases. *Clin Gastroenterol Hepatol* 5:678-683; quiz 645
- D'Agostino J, Diana M, Soler L, Vix M, Marescaux J (2012) 3D Virtual Neck Exploration Prior to Parathyroidectomy. *N Engl J Med* 367:1072-73
- D'Agostino J, Diana M, Vix M, Nicolau S, Soler L, Bourhala K, Hassler S, Wu HS, Marescaux J (2013) Three-dimensional metabolic and radiologic gathered evaluation using VR-RENDER fusion: a novel tool to enhance accuracy in the localization of parathyroid adenomas.

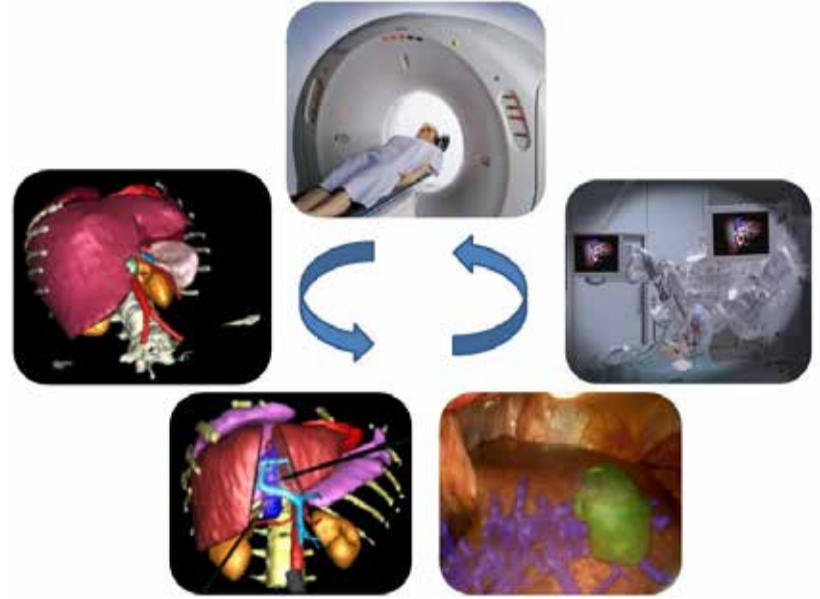
- World J Surg 37:1618-1625
- Marescaux J, Rubino F, Arenas M, Mutter D, Soler L (2004) Augmented-reality-assisted laparoscopic adrenalectomy. *JAMA* 292:2214-2215
- Marzano E, Piardi T, Soler L, Diana M, Mutter D, Marescaux J, Pessaux P (2013) Augmented reality-guided artery-first pancreaticoduodenectomy. *Journal of Gastrointestinal Surgery: official journal of the Society for Surgery of the Alimentary Tract* 17:1980-1983
- Nicolau S, Soler L, Mutter D, Marescaux J (2011) Augmented reality in laparoscopic surgical oncology. *Surg Oncol* 20:189-201
- Pessaux P, Diana M, Soler L, Piardi T, Mutter D, Marescaux J (2014) Robotic duodenopancreatectomy assisted with augmented reality and real-time fluorescence guidance. *Surg Endosc* 28:2493-8
- Pessaux P, Diana M, Soler L, Piardi T, Mutter D, Marescaux J (2015) Towards cybernetic surgery: robotic and augmented reality-assisted liver segmentectomy. *Langenbecks Arch Surg* 400:381-385
- Nicolau SA, Pennec X, Soler L, Buy X, Gangi A, Ayache N, Marescaux J (2009) An augmented reality system for liver thermal ablation: design and evaluation on clinical cases. *Medical Image Analysis* 13:494-506
- Hostettler A, Nicolau SA, Remond Y, Marescaux J, Soler L (2010) A real-time predictive simulation of abdominal viscera positions during quiet free breathing. *Progress in Biophysics and Molecular Biology* 103:169-184
- Umale S, Chatelin S, Bourdet N, Deck C, Diana M, Dhumane P, Soler L, Marescaux J, Willinger R (2011) Experimental in vitro mechanical characterization of porcine Glisson's capsule and hepatic veins. *Journal of Biomechanics* 44:1678-1683
- Haouchine N, Dequidt J, Berger MO, Cotin S (2013) Deformation-based augmented reality for hepatic surgery. *Studies in Health Technology and Informatics* 184:182-188
- Diana M, Wall J, Perretta S, Dallemagne B, Gonzales KD, Harrison MR, Agnus V, Soler L, Nicolau S, Marescaux J (2011) Totally endoscopic magnetic enteral bypass by external guided rendez-vous technique. *Surg Innov* 18:317-320
- Inoue H, Kudo SE (2010) Per-oral endoscopic myotomy (POEM) for 43 consecutive cases of esophageal achalasia. *Nihon Rinsho Japanese Journal of Clinical Medicine* 68:1749-1752
- Inoue H, Minami H, Kobayashi Y, Sato Y, Kaga M, Suzuki M, Sato-date H, Odaka N, Itoh H, Kudo S (2010) Peroral endoscopic myotomy (POEM) for esophageal achalasia. *Endoscopy* 42:265-271
- McGee MF, Rosen MJ, Marks J, Onders RP, Chak A, Faulx A, Chen VK, Ponsky J (2006) A primer on natural orifice transluminal endoscopic surgery: building a new paradigm. *Surgical Innov* 13:86-93
- Marescaux J, Dallemagne B, Perretta S, Wattiez A, Mutter D, Comaras D (2007) Surgery without scars: report of transluminal cholecystectomy in a human being. *Arch Surg* 142:823-826; Discussion 826-827
- Dallemagne B, Perretta S, Allemann P, Asakuma M, Marescaux J (2009) Transgastric hybrid cholecystectomy. *Br J Surg* 96:1162-1166
- Eleftheriadi N, Inoue H, Ikeda H, Onimaru M, Yoshida A, Hosoya T, Maselli R, Kudo SE (2012) Training in peroral endoscopic myotomy (POEM) for esophageal achalasia. *Therapeutics and Clinical Risk Management* 8:329-342
- de Lacy AM, Rattner DW, Adelsdorfer C, Tasende MM, Fernandez M, Delgado S, Sylla P, Martinez-Palli G (2013) Transanal natural orifice transluminal endoscopic surgery (NOTES) rectal resection: "down-to-up" total mesorectal excision (TME)--short-term outcomes in the first 20 cases. *Surg Endosc* 27:3165-3172
- Lacy AM, Delgado S, Rojas OA, Almenara R, Blasi A, Llach J (2008) MA-NOS radical sigmoidectomy: report of a transvaginal resection in the human. *Surg Endosc* 22:1717-1723
- Lamade W, Hochberger J, Ulmer C, Matthes K, Thon KP Triluminal hybrid NOS as a novel approach for colonic resection with colorectal anastomosis. *Surgical Innov* 17:28-35
- Sylla P, Bordeianou LG, Berger D, Han KS, Lauwers GY, Sahani DV, Sbeih M, Lacy AM, Rattner DW (2013) A pilot study of natural orifice transanal endoscopic total mesorectal excision with laparoscopic assistance for rectal cancer. *Surg Endosc* 27:3396-3405
- Costantino FA, Diana M, Wall J, Leroy J, Mutter D, Marescaux J (2012) Prospective evaluation of peritoneal fluid contamination following transabdominal vs. transanal specimen extraction in laparoscopic left-sided colorectal resections. *Surg Endosc* 26:1495-1500
- Diana M, Wall J, Costantino F, D'Agostino J, Leroy J, Marescaux J (2011) Transanal extraction of the specimen during laparoscopic colectomy. *Colorectal Disease: the official journal of the Association of Coloproctology of Great Britain and Ireland* 13 Suppl 7:23-27
- Leroy J, Diana M, Wall J, Costantino F, D'Agostino J, Marescaux J (2011) Laparo-endoscopic single-site (LESS) with transanal natural orifice specimen extraction (NOSE) sigmoidectomy: a new step before pure colorectal natural orifices transluminal endoscopic surgery (NOTES(R)). *Journal of gastrointestinal surgery: official journal of the Society for Surgery of the Alimentary Tract* 15:1488-1492
- Diana M, Leroy J, Wall J, De Ruijter V, Lindner V, Dhumane P, Mutter D, Marescaux J (2012) Prospective experimental study of transrectal viscerotomy closure using transanal endoscopic suture vs. circular stapler: a step toward NOTES. *Endoscopy* 44:605-611
- Leroy J, Diana M, Perretta S, Wall J, De Ruijter V, Marescaux J (2011) Original technique to close the transrectal viscerotomy access in a NOTES transrectal and transgastric segmental colectomy. *Surg Innov* 18:193-200
- Leroy J, Barry BD, Melani A, Mutter D, Marescaux J (2013) No-scar transanal total mesorectal excision: the last step to pure NOTES for colorectal surgery. *JAMA Surgery* 148:226-230; discussion 231
- Leroy J, Diana M, Barry B, Mutter D, Melani AG, Wu HS, Marescaux J (2012) Perirectal Oncologic Gateway to Retroperitoneal Endoscopic Single-Site Surgery (PROGRESS): a feasibility study for a new NOTES approach in a swine model. *Surg Innov* 19:345-352
- Halvax P, Diana M, Legner A, Lindner V, Liu YY, Nagao Y, Cho S, Marescaux J, Swanström LL (2015) Endoluminal full-thickness suture repair of gastrotomy: a survival study. *Surg Endosc* 29:3404-8
- Diana M, Swanström LL, Halvax P, Legner A, Liu YY, Alzaga A, D'Urso A, Marescaux J (2015) Esophageal covered stent fixation using an endoscopic over-the-scope clip. Mechanical proof of the concept and first clinical experience. *Surg Endosc* 29:3367-72
- Dhumane PV, Diana M, Leroy J, Marescaux J (2011) Minimally invasive single-site surgery for the digestive system: A technological review. *J Minim Access Surg* 7:40-51
- Diana M, Chung H, Liu KH, Dallemagne B, Demartines N, Mutter D, Marescaux J (2013) Endoluminal surgical triangulation: overcoming challenges of colonic endoscopic submucosal dissections using a novel flexible endoscopic surgical platform: feasibility study in a porcine model. *Surg Endosc* 27:4130-4135
- Perretta S, Dallemagne B, Barry B, Marescaux J (2013) The ANUBISCOPE(R) flexible platform ready for prime time: description of the first clinical case. *Surg Endosc* 27:2630
- Marescaux J, Leroy J, Gagner M, Rubino F, Mutter D, Vix M, Butner SE, Smith MK (2001) Transatlantic robot-assisted telesurgery. *Nature* 413:379-380

- Diana M, Pessaux P, Marescaux J (2014) New technologies for single-site robotic surgery in hepato-biliary-pancreatic surgery. *J Hepatobiliary Pancreat Sci* 21:34-42
- Duran C, Lumsden AB, Bismuth J (2014) A randomized, controlled animal trial demonstrating the feasibility and safety of the magellan

endovascular robotic system. *Annals of Vascular Surgery* 28:470-478

- Marescaux J, Diana M (2015) Next step in minimally invasive surgery: hybrid image-guided surgery. *J Pediatr Surg* 50:30-36

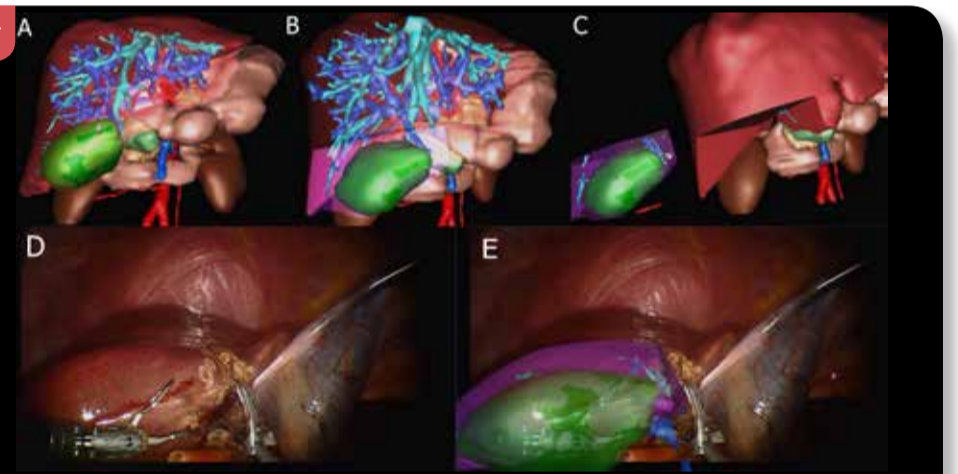
FIG. 1



Le processus d'obtention de la Réalité Augmentée en chirurgie

Le logiciel de Réalité Virtuelle à visée médicale est capable d'élaborer un modèle virtuel 3D du patient à partir d'images traitées en format DICOM (imagerie numérique et communication médicale) obtenues à partir d'un scanner ou de clichés IRM. La planification de la chirurgie peut être effectuée sur le modèle, en traçant des lignes de résection et en mesurant les volumes de résection. Le modèle virtuel en 3D peut être superposé au cours de l'intervention, avec des images du patient prises en temps réel, d'où l'obtention de la Réalité Augmentée. La réalité augmentée offre un outil de navigation, en visualisant des structures anatomiques inapparentes comme des structures vasculaires, en utilisant une transparence virtuelle modulaire appliquée aux organes.

FIG. 2



Logiciel VR-RENDER® : un outil de planification des résections chirurgicales guidées par l'image

Le logiciel VR-RENDER® développé à l'IRCAD, outre le fait qu'il permet de visualiser les plans de résection et qu'il aide à planifier l'intervention, peut aussi calculer les volumes de résection et de pièce opératoire restante. Il a été appliqué aux résections hépatiques mini-invasives.

A) Reconstruction 3D d'un scanner obtenu par VR-RENDER® : en vert : grosse tumeur du segment V ; B) le plan de résection est préparé en suivant les repères vasculaires et en calculant les marges adéquates (en violet) ; C) le volume de résection est également calculé ; D) Vue opératoire du même patient ; et E) Réalité Augmentée obtenue par superposition du modèle virtuel sur les images laparoscopiques en temps réel.

FIG. 3



Prototype STRAS

Le prototype STRAS (Single-access Transluminal Robotic Assistance for Surgeons) ou assistance chirurgicale robotisée trans-luminale à incision unique est une version robotisée issue des plate-formes de chirurgie endoscopique mécanique. Anubiscope® ou Isiscope® de la société Karl Storz. A et B) manches intuitifs du côté MASTER pour assurer un contrôle aisé des effecteurs ; C) moteurs transférant les mouvements aux effecteurs terminaux ; D) la pointe de l'instrument s'ouvre comme une coquille pour répartir les instruments opératoires et offrir ainsi une triangulation des instruments.