

Nouvelles technologies en chirurgie digestive

Recent advances in digestive surgery

J.-J. Houben

Service de Chirurgie digestive, Hôpital Erasme, ULB

RESUME

Introduction : La pratique clinique gastro-entérologique chirurgicale vit de profonds bouleversements technologiques. Si le siècle passé consacrait l'amélioration des techniques diagnostiques et thérapeutiques au profit des procédures, des recommandations et des stratégies, le 21^e siècle voit ce paradigme s'inverser. La médecine dépend non seulement de l'accès aux technologies mais depuis peu, elle s'y soumet. Le médecin doit-il suivre l'ingénieur ? La collecte des données dépend-elle de l'informaticien ? Qui décide ? Le praticien ? Le patient ? Ou l'intelligence artificielle ?

Matériel et Méthodes : La présente réflexion, qui ne pourra pas répondre définitivement aux questions posées, s'alimente de la pratique quotidienne des chirurgiens de notre communauté. Nous avons collecté les articles et éditoriaux qui décrivent l'actualité technologique. Une revue dans PUBMED consacrée aux nouveautés technologiques en chirurgie digestive agrémentée de la recherche au sein des think tanks de l'industrie a permis d'en tirer les axes principaux.

Résultats : Parmi la multitude de recherches et de progrès rapportés ou appliqués, 6 axes se dégagent : l'apport de l'imagerie en réalité augmentée, la mini ou micro invasivité, la robotique, les nouvelles énergies, les big data et l'intelligence artificielle.

Conclusion : L'accélération des technologies de la collecte et du traitement de l'information couplée au progrès imminents en mécanique va révolutionner notre pratique clinique. Le rôle du médecin est complètement à réinventer. Il nous appartient de préparer les jeunes à cette révolution qui touche l'humanité.

Rev Med Brux 2018 ; 39 : 359-64

ABSTRACT

Introduction : Surgical practice in gastroenterology is concerned by deep technological advances. In the past century, the technological advances were conducted by clinical challenges and strategies. The 21th century is clearly led by the inversion of the paradigms. Medical practice does not only depend on the access to the technologies, but it seems submitted to her. Should the physician follow the engineer ? Does the clinical data collection, depend on the computer ? Who decides ? The doctor, the patient or the Artificial Intelligence ?

Materiel et Methods : The present essay that definitely does not answer all these questions, is achieved thanks the practical experience of our colleagues. We also collected the recent literature devoted to new and promising technologies. The PUBMED review is completed by several think tanks reports coming from the industry.

Results : Among the multiple aspects of present and future progresses, 6 among them could be pointed out: the benefit of augmented reality, mini and micro invasive techniques, robotic, news energies, big data and artificial intelligence.

Conclusions : Progresses in data collection and treatment, imminent advances in micro mechanics, will completely change our clinical practice. The role of the doctor is in the center of this approach. We have to prepare young people to this human revolution.

Rev Med Brux 2018 ; 39 : 359-64

Key words : surgical progresses, augmented reality, artificial intelligence, big data

INTRODUCTION

La seconde moitié du 20^e siècle, que la plupart des praticiens actuels ont connu fut marquée par l'industrialisation et l'automatisation de l'environnement hospitalier particulièrement des blocs opératoires. Les méthodes de production, la stérilisation, le conditionnement, puis la distribution, le financement et finalement l'outsourcing ont vraiment révolutionné les pratiques chirurgicales.

Depuis 30 ans, c'est la communication, la numérisation, la miniaturisation qui ont apporté une nouvelle vague. Mais ces nouveaux progrès ont alimenté une réflexion bien plus profonde. Prenons un exemple concret. Le diagnostic de l'appendicite aiguë, en particulier chez l'enfant, restait un défi clinique. Il était hors de question que le chirurgien senior de garde ne revienne pas examiner le patient pour confirmer ou infirmer le diagnostic du généraliste ou du pédiatre. Une " suspicion " d'appendicite s'opère. Dès 1980, l'imagerie par échographie s'est insérée dans le débat¹. Opérateur dépendante, elle peut être renforcée par une tomographie axiale computerisée. L'itinéraire clinique change. D'abord parce que la continuité médicale devient collective (cabinet de groupe, gardes médicales, ...) mais aussi parce que les urgentistes apparaissent. On appelle le chirurgien, diagnostic pratiquement posé. Conséquence directe du nouveau financement, on tend à programmer l'intervention pendant les heures ouvrables. Le monitoring rapproché suivi des contrôles en imagerie permet de constater que certaines appendicites régressent sous antibiotiques. Les critères de gravité s'affinent pour désormais poser la question : qui doit être opéré en urgence ? Différée ou pas ? Ou mieux, pourquoi ne pas traiter médicalement certaines d'entre elles ?²

Un second exemple concerne l'aspect invasif de la chirurgie gastrique. Qui aurait pu prédire en 1988, soit il y a 40 ans, que la mortalité opératoire d'un

bypass gastrojéjunal serait inférieure à la mortalité oncologique de l'obèse morbide ? Ce qui a déterminé le bénéfice de la chirurgie bariatrique dans le diabète de type 2 ou dans le syndrome d'apnées du sommeil, ce n'est aucunement le rôle de l'obésité connu depuis Pickwick, c'est bien la chirurgie mini-invasive³.

Ces deux exemples illustrent l'inversion des paradigmes induite par la technologie. La médecine dépend non seulement de l'accès aux technologies mais depuis peu, elle s'y soumet.

De nombreux exemples illustrent ce propos. Mais l'explosion de la chirurgie ambulatoire (1 jour, 1 nuit) est consécutive à la réduction de la douleur de l'iléus postopératoire. Le principe du *Fast Track* en est l'autre conséquence. La question du réel bénéfice pour le patient lui-même demeure pour certains " incertaine ".

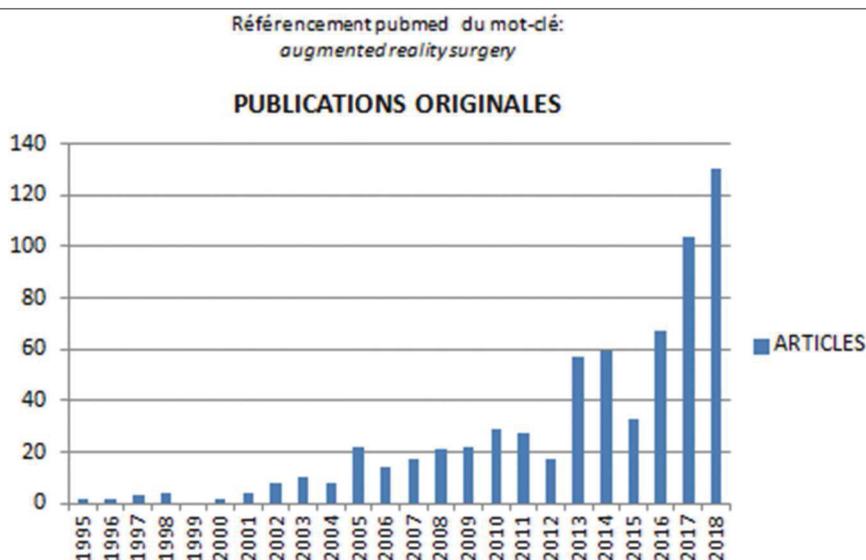
Le médecin doit-il suivre l'ingénieur ? La collecte des données dépend-elle de l'informaticien ? Qui décide ? Le praticien ? Le patient ? Ou l'intelligence artificielle (IA) ? Se projeter dans le futur même rapproché en médecine est un exercice périlleux.

MATERIEL ET METHODES

La présente réflexion, qui ne pourra pas répondre définitivement aux questions posées, s'alimente de la pratique quotidienne des chirurgiens de notre communauté. Nous avons collecté les articles et éditoriaux qui décrivent l'actualité technologique. Une revue dans PUBMED consacrée aux nouveautés technologiques en chirurgie digestive agrémentée de la recherche au sein des *think tanks* de l'industrie a permis d'en tirer les axes principaux.

La recherche s'est faite sur base de mots-clés : *general surgery advances, new technology in abdominal surgery, virtual patient, clinical big data, robotic surgery, augmented reality, stereotaxy* (tableau).

Tableau : En médecine, et en chirurgie en particulier, 662 références (PUBMED) dédiées à l'IA ont été sélectionnées et évaluées de 1995 à 2018 (extrapolation sur 6 mois). La recherche s'est faite sur base de mots-clés : *general surgery advances, new technology in abdominal surgery, virtual patient, clinical big data, robotic surgery, augmented reality, stereotaxy*.



RESULTATS

Parmi la multitude de recherches et de progrès rapportés ou appliqués, 6 axes se dégagent :

L'apport de l'imagerie en réalité augmentée (RA)

Depuis 20 ans, la reconstruction des organes digestifs progresse. L'acquisition DICOM (*digital imaging and communications in medicine*) de coupes fines jointives et les progrès en segmentation apportent désormais une imagerie permettant une planification adéquate dans plusieurs domaines. Nous avons intégré la réalité virtuelle dans certains blocs opératoires européens⁴. Certains chirurgiens résistent mais le courant progresse. La planification des résections hépatiques est une des meilleures applications de Visual Patient® (figure). La connaissance anatomique topographique est essentielle⁵. Mais en revanche, si on atteint mieux une adresse déterminée avec une carte routière, la réalité ne colle pas avec le descriptif. Si l'on équipe le véhicule d'un GPS (*Global Positioning System*), le pilote sait exactement où il est. C'est la RA^{6,7}. Le casque Hololens® de Microsoft adopté par Visual Patient® fournit l'empreinte précise de la lésion à réséquer ou à détruire et ses rapports anatomiques précis⁸. Le bond entre la réalité virtuelle et la RA est comparable au passage de la carte routière au GPS.

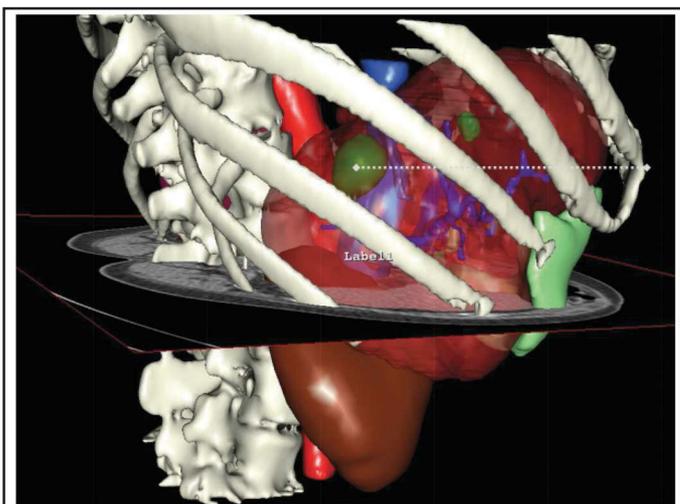


Figure : Exemple de planification préopératoire d'une métastase hépatique.

Mais chacun sait que le GPS va disparaître. Pas la géolocalisation où l'Europe vient d'investir trop tard avec Galileo, mais le système figé est remplacé par le système dynamique en temps réel. Nous utilisons tous le logiciel Waze®. Waze®, c'est le vrai début de l'IA. Intégrer une masse d'informations en temps réel pour solutionner un problème. Si on applique cette collecte d'information numérisée au patient, c'est à dire un scanning immédiatement préopératoire ou même peropératoire, l'information peut être intégrée par le logiciel d'identification et de traitement⁹.

L'erreur vécue quotidiennement et les imprécisions de nos procédures approximatives disparaissent.

Qui confiera, dès lors, la destruction d'une métastase à un chirurgien privé de la RA ?

La mini ou micro-invasivité

L'avènement de la chirurgie laparoscopique implémentée par les optiques rigides pourvues de caméras, puis d'optiques flexibles a révolutionné la chirurgie générale et digestive en particulier. Le recours à l'introduction des dispositifs par les voies naturelles constitue une seconde étape. Les voies transorales, transvaginales, transanales, ... sont désormais d'actualité. L'exemple de la technique du TAMIS (*Transanal minimally invasive surgery*) consiste à disséquer et réséquer les tumeurs du rectum par voie anale¹⁰.

Il est clair que depuis l'avènement de l'endothérapie dans les années '70, les progrès en fibres optiques, en instrumentation flexible, la fusion entre l'endoscopie et la chirurgie s'opère. La miniaturisation n'a aucune limite puisque les nanorobots attendent leur diffusion¹¹. En extrayant les bénéfices des différentes approches, les voies d'abord vont encore se perfectionner. Elles ne sont plus concurrentes, elles sont complémentaires. Les remparts qui séparaient l'imagerie médicale de l'endoscopie et du bloc opératoire sont en voie d'effondrement.

La robotique

La première percée de la robotique en chirurgie digestive fut le programme Aesop®. Bras articulé à reconnaissance vocale, il fut testé et adopté dès 1994 par de nombreux chirurgiens aux USA et en Europe¹². Stabilité de l'assistance, de l'image, il remplace l'assistant, mais pas le chirurgien. Non agréé par les autorités publiques belges, il ne fut introduit à l'Hôpital Erasme que trois ans plus tard. Son financement ne fut adopté que 5 ans après sa diffusion.

Mais c'est bien entendu le programme Da Vinci® d'Intuitive Surgical® qui a marqué l'an 2001, robot guidé par une console où le chirurgien sans contact avec le patient manipule les instruments¹³. Testé pour les remplacements valvulaires, les prostatectomies radicales, la reperméabilisation tubaire, Da Vinci est expérimenté en chirurgie herniaire, bariatrique, hépatique, surrénalienne, rénale. S'il reste encombrant, couteux et mobilisateur de personnel, sa maniabilité augmente, les images tridimensionnelles s'améliorent encore et le développement des aides à la suture et aux agrafages vont décupler son utilisation. La fusion de l'image stéréoscopique avec l'imagerie par tomographie axiale computerisée va doper son avenir.

La téléchirurgie actuellement expérimentale initiée par l'IRCAD (Institut de Recherches contre le Cancer de l'Appareil digestif, Strasbourg) n'est un corollaire de la robotique. Mais l'avenir promet encore des surprises. On évoque sérieusement la chirurgie en milieu extra-atmosphérique et donc spatial¹⁵.

Les nouvelles énergies

De l'électrocoagulation au LASER en passant par l'Argon, les nouvelles énergies implémentent définitivement les interventions chirurgicales. La radiofréquence permet de détruire les tumeurs par laparotomie coelioscopie ou en percutané¹⁶. Echoguidée, le principe est celui d'une fusion de technologies conventionnelles.

Le Nanoknife® délivre un courant de haute énergie par des électrodes percutanées. La destruction tumorale ciblée est très efficace. Le GammaKnife et le CyberKnife permettent d'irradier localement des tumeurs au centre de zones à préserver. Limités essentiellement à la neurochirurgie, ces outils peuvent être adaptés à d'autres pathologies thoraciques ou abdominales^{17,18}.

Les big data

La quantité d'information utile à la réalisation d'un traitement chirurgical explose : données anatomiques, identification de la lésion, reconnaissance des obstacles, intégration des paramètres vitaux chez le polytraumatisé. L'algorithme des *trauma center* varie selon une foule de paramètres (horaire, degré d'urgence, âge, disponibilités en imagerie et au bloc opératoire, site de l'hémorragie). Si le sens clinique prédomine encore, l'expérience des échecs acquise par des centaines de centres sera intégrée dans un ordinateur. Le logiciel reconnaîtra les lésions et leur dangerosité bien plus rapidement que l'urgentiste ou le chirurgien en formation qui garde la porte ou le SMUR (Service médical d'Urgence, équivalent du SAMU en France)¹⁹.

Autre apport de la gestion des *big data* : le contrôle de qualité et les performances thérapeutiques. Pour connaître ses résultats et la morbidité de ses pratiques en temps réel, les chirurgiens se heurtent à des obstacles souvent insurmontables : données cliniques non enregistrées, logiciels hospitaliers inadaptés à l'extraction des données, erreur d'encodage, camouflage volontaire ou accidentel des incidents, patients perdus de vue ou faisant du shopping médical, absence de data manager, impossibilité de consacrer du temps à la recherche clinique... Une révision clinique de 30 pancréatectomies demande le traitement de plus de 6.000 données.

L'intelligence artificielle (IA)

Venons-en au concept d'IA. Tout d'abord, le terme est mal choisi. L'intelligence est la capacité de produire un raisonnement et de tirer des conclusions spéculatives ou opérationnelles dans un secteur délimité. On peut parler d'intelligence animale ou humaine. Mais la production d'une connaissance par l'intégration de données collectées peut être biologique ou automatisée. Réalisée sur un support biologique (effecteur moléculaire, pompe à ions, neurone activé...) ou support de silicium par les bits mémorisés sur un

semi-conducteur, tout raisonnement correspond factuellement à un calcul simple ou complexe.

Certaines approches chirurgicales font appel au concept d'intelligence ajoutée : il s'agit de la combinaison de techniques orphelines. La radiothérapie per-opératoire et l'HIPEC (*Hyperthermic intraperitoneal chemotherapy*) en sont deux exemples²⁰. Le recours à la radiofréquence appliquée sous échographie per opératoire et par laparoscopie est un exercice d'intelligence intégrant la collecte de sources multiples.

Il y a 40 ans, on disposait au lit du malade, de son aspect clinique, son rythme cardiaque, sa température cutanée, son rythme respiratoire. Un lit connecté compte plus de 60 paramètres mesurés chaque minute. Il intègre la composition de la transpiration, les gaz sanguins, le dosage du lactate, la température de chaque partie du corps, la résistance cutanée, l'état de veille, le CO₂ expiré, le pH urinaire... Il devient évident que moyennant l'acquisition des facteurs corrélés avec le sepsis, le lit connecté identifiera plusieurs heures, voire jours avant l'infirmière, l'aggravation de l'état de santé. C'est la capacité de calcul du logiciel qui dépasse totalement le médecin.

Le 12 février 1996, Garry Kasparov gagna sa première confrontation avec Deep Blue®. En mai 1997, IBM avait fourni l'ensemble des parties enregistrées du championnat du monde à Deep Blue®. Kasparov fut vaincu²¹. La confirmation de la suprématie de l'IA fut franchie en octobre 2015 par la victoire d'Alphago® sur Lee Sedol, le meilleur joueur du monde.

En médecine et en chirurgie en particulier, nous avons sélectionné 662 références dédiées à l'IA. L'évolution de 1995 à 2018 (extrapolation sur 6 mois) est explicite (tableau).

Des algorithmes puissants permettent d'identifier un carcinome mammaire ou de préciser le typage exact des leucoses^{22,23}. Les traitements des leucémies chez l'enfant dépendent de ces informations génétiques complexes. Quel est le parent d'un enfant atteint de leucémie lymphoïde qui consultera un hématologue dépourvu des logiciels d'identification moléculaire ?

La table d'opération en RA rendra le chirurgien totalement connecté. Il devrait conserver le contrôle décisionnel, mais la procédure sera automatisée. Appliquée au bistouri téléguidé, l'IA va bénéficier du spectromètre de masse qui analyse la composition chimique ou biologique d'échantillons tissulaire permettant d'identifier la nature cancéreuse des cellules en temps réel. L'imagerie hyperspectrale permet par exemple de détecter l'urée à travers un tissu²⁴. En conséquence, il ne sera plus permis de léser un uretère au cours de la dissection d'un colon sigmoïde difficile.

La combinaison de la robotique de l'imagerie embarquée et d'un logiciel d'identification tissulaire organique ou néoplasique, le dispositif est presque

achevé. Le " *joint venture* " entre *Intuitive Surgical*, *Alpha Go* et *Google* est en marche.

CONCLUSION

La collecte des articles originaux correspondant à l'apparition, en clinique chirurgicale digestive, d'une nouvelle étape technologique alimente une réflexion qui projette dans le futur immédiat. Certaines technologies ont été anecdotiques. D'autres ont lentement pénétré la sphère du bloc opératoire, freinées parfois par l'opérateur lui-même, parfois par l'institution, parfois par le financement. Mais irrémédiablement la technologie s'impose.

La nouveauté véritable, c'est que l'imagerie médicale intégrée et sa forme augmentée, l'assistance par les logiciels et le traitement des *big data* changent dès à présent la procédure. L'itinéraire clinique du cancer colique, de la leucémie, de l'appendicite aiguë change. Le diagnostic, l'acte opératoire et surtout le suivi postopératoire ne pourront plus se priver de l'IA²⁵.

L'accélération des technologies de la collecte, du traitement de l'information couplée au progrès imminents en mécanique va révolutionner notre pratique clinique. Ce qui nous attend c'est le remplacement de plus de 90 % de notre pratique médicale par le numérique. Le rôle du médecin est complètement à réinventer. Il nous appartient de préparer les jeunes à cette révolution qui touche l'Humanité.

Conflits d'intérêt : néant.

BIBLIOGRAPHIE

1. Healy D, Dunne M, Duignan J, Heffernan SJ. The use of ultrasonography in the diagnosis of retroperitoneal abscess caused by perforation of the appendix. *Ir J Med Sci*. 1980;149(12):479.
2. O'Connell EP, White A, Cromwell P, Carroll E, Khan W, Waldron R *et al*. Non-operative treatment of appendicitis: public perception and decision-making. *Ir J Med Sci*. 2018 Feb 8. doi: 10.1007/s11845-018-1758-5.
3. Houben JJ, Closset J, Elcherth J, Barea M, Van Gossum A, Mehdi A *et al*. The treatment of morbid obesity by gastroplasty. *Rev Med Brux*. 1996;17(4):236-9.
4. Phutane P, Buc E, Poirot K, Ozgur E, Pezet D, Bartoli A *et al*. Preliminary trial of augmented reality performed on a laparoscopic left hepatectomy *Surg Endosc*. 2018;32(1):514-5.
5. Yasuda J, Okamoto T, Onda S, Futagawa Y, Yanaga K, Suzuki N *et al*. navigation system by augmented reality technology using a tablet PC for hepatobiliary and pancreatic surgery. *Int J Med Robot*. 2018:e1921. doi: 10.1002/rcs.1921.
6. Yoon JW, Chen RE, Kim EJ, Akinduro OO, Kerezoudis P, Han PK *et al*. Augmented reality for the surgeon: Systematic review. *Int J Med Robot*. 2018. doi: 10.1002.
7. Lavallée S, Cinquin P, Szeliski R, Peria O, Hamadeh A, Champlébourg G *et al*. Building a hybrid patient's model for augmented reality in surgery: a registration problem. *Comput Biol Med*. 1995;25(2):149-64.
8. Tepper OM, Rudy HL, Lefkowitz A, Weimer KA, Marks SM, Stern CS *et al*. Mixed Reality with HoloLens: Where Virtual Reality Meets Augmented Reality in the Operating Room. *Plast Reconstr Surg*. 2017;140(5):1066-70.
9. Cheung TT, Ma KW, She WH, Dai WC, Tsang SHY, Chan ACY *et al*. Pure laparoscopic hepatectomy with augmented reality-assisted indocyanine green fluorescence versus open hepatectomy for hepatocellular carcinoma with liver cirrhosis: A propensity analysis at a single center. *Asian J Endosc Surg*. 2018;11(2):104-11.
10. Maglio R, Muzi GM, Massimo MM, Masoni L. Transanal minimally invasive surgery (TAMIS): new treatment for early rectal cancer and large rectal polyps-experience of an Italian center. *Am Surg*. 2015;81(3):273-7.
11. Menciassi A, Quirini M, Dario P. Microrobotics for future gastrointestinal endoscopy. *Minim Invasive Ther Allied Technol*. 2007;16(2):91-100.
12. Unger SW, Unger HM, Bass RT. AESOP robotic arm. *Surg Endosc*. 1994;8(9):1131.
13. Hanisch E, Markus B, Gutt C, Schmandra TC, Encke A. Robot-assisted laparoscopic cholecystectomy and fundoplication-initial experiences with the Da Vinci system. *Chirurg*. 2001;72(3):286-8.
14. Marescaux J, Leroy J, Gagner M, Rubino F, Mutter D, Vix M *et al*. " Transatlantic robot-assisted telesurgery ". *Nature*. 2001; 413(6854):379-80.
15. Panesar SS, Ashkan K. Surgery in space. *Br J Surg*. 2018 doi: 10.1002/bjs.10908.
16. Buscarini L, Rossi S, Fornari F, Di Stasi M, Buscarini E. Laparoscopic ablation of liver adenoma by radiofrequency electrocautery. *Gastrointest Endosc*. 1995;41(1):68-70.
17. Zhang Z, Li W, Procissi D, Tyler P, Omary RA, Larson AC. Rapid dramatic alterations to the tumor microstructure in pancreatic cancer following irreversible electroporation ablation. *Nanomedicine (Lond)*. 2014;9(8):1181-92.
18. Pishvaian AC, Collins B, Gagnon G, Ahlawat S, Haddad N. GEUS-guided fiducial placement for CyberKnife radiotherapy of mediastinal and abdominal malignancies. *Gastrointest Endosc*. 2006;64(3):412-7.
19. Mathias B, Lipori G, Moldawer LL, Efron PA. Integrating " big data " into surgical practice. *Surgery*. 2016;159(2):371-4.
20. Klaver CE, Musters GD, Bemelman WA, Punt CJ, Verwaal VJ, Dijkgraaf MG *et al*. Adjuvant hyperthermic intraperitoneal chemotherapy (HIPEC) in patients with colon cancer at high risk of peritoneal carcinomatosis; the COLOPEC randomized multicentre trial. *BMC Cancer*. 2015;15:428.
21. Leglu D. Les secrets d'une machine surpuissante. L'ordinateur Deep Blue joue aux échecs avec une " mémoire " alimentée par l'homme. *Libération*;13 mai 1997.
22. Ozanne EM, Annis C, Adduci K, Showstack J, Esserman L. Pilot trial of a computerized decision aid for breast cancer prevention. *Breast J*. 2007;13(2):147-54.
23. TheJapanTimes. (Consulté le 20/06/18). Tomoko Otake. IBM big data used for rapid diagnosis of rare leukemia case in Japan. [Internet]. <https://www.japantimes.co.jp/news/2016/08/11/national/science-health/ibm-big-data-used-for-rapid-diagnosis-of-rare-leukemia-case-in-japan/#.Wzi3pfZuK70>
24. Douissard J, Ris F, Morel P, and Buchs NC. Current strategies to prevent iatrogenic ureteral injury during colorectal surgery. *Surg Technol Int*. 2018;32:119-24.

25. Nagano H. Big data, information and communication technology, artificial intelligence, Internet of things: How important are they for gastroenterological surgery? *Ann Gastroenterol Surg.* 2018;2(3):166.

Correspondance :

J.-J. HOUBEN
Hôpital Erasme
Service de Chirurgie digestive
Route de Lennik, 808
1070 Bruxelles
E-mail : jjhouben@ulb.ac.be

Travail reçu le 2 juillet 2018 ; accepté dans sa version définitive le 10 juillet 2018.