

# Utilisation de simulateurs pour l'enseignement de la chirurgie

## Use of simulation for surgical training

X Martin, S Crouzet

*Service d'urologie et chirurgie de la transplantation, Hôpital Édouard Herriot, Lyon*

### Mots clés

- Enseignement
- Chirurgie
- Simulation
- Ecoles de chirurgie

### Résumé

Les techniques de simulation apparaissent particulièrement efficaces pour l'apprentissage de la médecine par rapport à l'enseignement classique magistral. La simulation en chirurgie fait appel à plusieurs niveaux dans l'apprentissage : les gestes de base (maniement des instruments, confection des nœuds...), les gestes complexes (dissection d'un pédicule vasculaire...), la tactique d'une intervention et la stratégie en fonction des données globales du patient. Certains outils utilisés s'aidant des techniques informatisées d'imagerie permettent de reproduire le champ opératoire de façon quasi-réelle avec possibilité d'interaction entre l'étudiant et le champ opératoire grâce à une interface instrumentale. La simulation peut également faire appel à des modèles plus complexes comme les pièces anatomiques humaines ou les animaux de laboratoire. L'ensemble de ces outils est développé dans les écoles de chirurgie, véritables laboratoires pédagogiques attractifs pour les jeunes chirurgiens en formation et lieux de recherche dans le domaine de l'instrumentation et de la robotique.

### Keywords

- Surgical training
- Simulation
- Schools of surgery

### Abstract

The techniques of simulation seem particularly effective for the learning of medicine as compared to classical education. Simulation in surgery appeals to several levels in the training: basic steps (manipulation of instruments, knots tying), complex or combined steps, dissection of a vascular pedicle, the tactics of an intervention and the strategy according to global status of the patient. Tools and techniques using computerized images allow to reproduce in the operative field in a quasi real manner allowing interaction between the student and the operative field, thanks to an instrumental interface. The simulation can also appeal to more complex models as the human anatomical parts or the animals of laboratory. All these tools are developed in the Schools of surgery, real educational laboratories attractive for the surgeons in training and research places in the field of the instrumentation and of robotics.

Utiliser la réalité virtuelle peut avoir certaines applications dans le domaine de la formation médicale. Cette méthode de simulation apparaît beaucoup plus efficace en termes pédagogiques que le cours magistral, la lecture d'un document ou la conférence audiovisuelle. L'assimilation d'une connaissance apportée par technique de simulation doit comporter de façon indispensable plusieurs temps : la simulation proprement dite de la situation et le temps de restitution qui permet d'analyser la situation elle-même et la réaction de l'étudiant face aux problèmes considérés. Ce deuxième temps de restitution apparaît essentiel, il permet de positionner le problème dans le contexte et de discuter les différentes alternatives grâce à un référentiel. Cette deuxième partie manque le plus souvent dans l'enseignement médical, notamment dans les gestes techniques appris aux étudiants lors du compagnonnage opératoire que l'on pratique le plus souvent en chirurgie.

### Différentes méthodes

L'enseignement par la simulation peut être réalisé par l'utilisation de différents supports.

Le support le plus simple est constitué par un enseignant lui-même et son interaction avec l'étudiant par le simple fait de poser des questions. La mise en scène « théâtrale », telle que l'on peut la réaliser dans les jeux de rôle est une forme de simulation qui a de bonnes performances pédagogiques puisque, en plus de créer une situation attractive dans un groupe d'étudiants, elle incite les étudiants à répondre correctement à cette situation du fait de la présence d'un auditoire qui crée une sorte de compétition entre les étudiants.

À un niveau différent, des logiciels permettant à l'étudiant de suivre le parcours d'un patient et d'apporter des ressources documentaires en soutien à chaque question posée représen-

### Correspondance :

*Xavier Martin, Service d'urologie et chirurgie de la transplantation, Faculté de médecine Lyon Est-Université Lyon1.  
Hôpital Édouard Herriot, place d'Arsonval, 69 436 Lyon cedex 03  
E-mail : [xmartin@univ-lyon1.fr](mailto:xmartin@univ-lyon1.fr)*

tent également une méthode pédagogique efficace. Mais cette méthode s'adresse à un étudiant seul. Elle représente plutôt un test d'évaluation des connaissances qu'une méthode d'apprentissage.

Certains outils plus récents, s'aidant de l'informatique, peuvent reproduire des documents radiographiques ou même le véritable champ opératoire. Reliés avec une interface à l'étudiant, ils permettent, comme dans un véritable jeu vidéo, de réaliser des interventions virtuelles. L'informatique, grâce à ses possibilités de logiciels et ses possibilités graphiques, trouve une application idéale dans le domaine médical comme elle en a trouvé dans la simulation de situations ludiques et de situations professionnelles (apprentissage de conduite ou de pilotage d'avions). Les outils utilisés peuvent servir à l'apprentissage de gestes en chirurgie en particulier.

La simulation peut aussi reproduire des situations très rares mais potentiellement très graves, dans lesquelles un praticien a peu de chances d'être confronté pendant la période de sa formation. Elle peut au contraire reproduire des situations de base fréquentes pour l'apprentissage de situations communes. La simulation peut s'appliquer à la formation d'un praticien mais aussi à la réaction de l'ensemble d'une équipe face à une situation grave demandant une réaction immédiate (hémorragie massive au bloc opératoire, défaillance du système de circulation extracorporelle au cours d'une intervention, arrêt cardiaque...).

### Apprentissage par simulation en médecine

Le simple mannequin permettant l'apprentissage de gestes de secourisme (massage cardiaque externe, libération des voies aériennes supérieures) représente à lui seul un simulateur peu sophistiqué. Il est utilisé dans les formations de secourisme qui sont maintenant obligatoires dans le cursus des études médicales et paramédicales (AFGSU). Des simulateurs basés sur l'informatique où le mannequin représente l'interface matérielle entre l'étudiant et le référentiel de connaissances sont utilisés pour les formations des spécialistes, en particulier en anesthésie-réanimation. Ces appareils permettent de simuler un accident survenant au cours d'une anesthésie (spasmes bronchiques, arrêt cardiaque...). Ils donnent la possibilité à l'étudiant, via l'interface, de réagir pour corriger la situation et d'obtenir le résultat de son action. Ces mannequins sont souvent utilisés par les fabricants de matériels destinés à l'anesthésie-réanimation comme support pour des actions de promotion. De véritables centres pédagogiques ont ainsi pu être mis en place par de gros fabricants de matériel médical. Ces centres pédagogiques dotés d'un matériel coûteux permettent à ces fabricants d'organiser des séminaires de formation, le plus souvent encadrés par des enseignants universitaires. Ce type de formation s'adresse soit à des étudiants du troisième cycle en anesthésie-réanimation soit éventuellement à des praticiens dans le cadre de leur formation continue. Certaines de ces formations peuvent même obtenir le label permettant d'obtenir des crédits de formation continue.

### Apprentissage des gestes techniques chirurgicaux

Un grand nombre de simulateurs ont été développés au fil des années pour enseigner le geste chirurgical. Le geste chirurgical est finalement très complexe, il ne se résume, bien sûr, pas seulement à une gestuelle nécessitant habileté, il comporte aussi plusieurs composantes :

- la coordination de gestes simples (effectuer une série de nœuds pour bloquer une ligature, effectuer une suture à l'aide d'une aiguille sertie, utiliser correctement les instruments, porte aiguille, pince à disséquer...)
- la réalisation de gestes plus complexes, dissection d'un vaisseau en prenant soin de ne pas l'endommager ni endomma-

ger un tissu avoisinant, résection d'un organe, nécessitant l'identification des pédicules vasculaires, leur ligature... ;

- à un stade ultime, il s'agit de la tactique opératoire devant une difficulté rencontrée. L'existence d'adhérences importantes d'une tumeur avec les gros vaisseaux peut faire préférer aborder la tumeur par le haut plutôt que par le bas... Il s'agit là d'une situation chaque fois particulière qui est peu reproductible et pour laquelle l'acquisition de compétences est le plus souvent uniquement le résultat de l'expérience réelle de terrain. La prise de décision devant un incident opératoire (plaie intestinale, arrachement de l'uretère) nécessite la prise en compte à la fois de la situation technique sur le champ opératoire mais aussi des différents éléments du contexte du patient, ses antécédents, son état général ;
- la réalisation d'interventions complètes, et en particulier la mise en présence d'une situation imprévue nécessitant une réaction immédiate (hémorragie importante...). Dans ce cas c'est la formation d'équipes complètes qui est réalisée.

En plus des qualités gestuelles, le chirurgien doit avoir une bonne capacité de décision, des qualités de communication et de réaction au stress. Bien d'autres qualités sont requises, elles dépendent souvent de qualités comportementales qui sont difficiles à modéliser et à enseigner.

L'apprentissage gestuel va dépendre des outils utilisés. Les outils de base en chirurgie ouverte ont peu progressé, en contrepartie il existe de nouveaux outils souvent basés sur des effets physiques : ultracision, Laser, agrafeuses particulières pour sutures digestives. Chacun de ces outils nécessite un apprentissage pour son utilisation pour mieux obtenir et optimiser l'effet recherché. Dans cette utilisation, les simulateurs sont indispensables.

L'apprentissage va aussi dépendre de la voie d'abord utilisée qui peut être conventionnelle en chirurgie ouverte ou trans-pariétale pour les techniques mini-invasives de laparoscopie. Il faut savoir maîtriser les instruments qui permettent ces nouveaux abord et ces nouvelles techniques. Il faut également, pour l'étudiant, faire face à un champ opératoire limité par l'angle de la caméra et l'absence de relief et connaître l'anatomie endoscopique. L'utilisation de pièces anatomiques humaines permet de reproduire les situations qui, sur le plan topographique, sont très voisines de la réalité (1). La solution pédagogique face à ces problèmes est multiple.

### Des simulateurs rudimentaires pour les gestes de base

Pour le premier groupe de gestes, les gestes de base, nos maîtres nous ont appris à nous entraîner à faire des nœuds sur un barreau de chaise, au fond d'un chapeau, ou à poser une suture sur du papier toilette humide... Cet apprentissage avec ces simulateurs peu coûteux est indispensable pour acquérir précision et rapidité dans ce type de gestes de base, répétés au cours de n'importe quelle intervention et qui nécessitent d'être réalisés rapidement pour ne pas prolonger sa durée.

La chirurgie coelioscopique peut être apprise avec des simulateurs légèrement plus sophistiqués mais toujours assez rudimentaires. Un simple caméscope positionné dans une « boîte à chaussures » représente un outil idéal pour l'apprentissage de la réalisation de ce type de geste de base en coelioscopie. Ces simulateurs mécaniques très simples permettent à l'opérateur de se familiariser avec la vision plane procurée par la majorité des appareils endoscopiques actuellement (2). Même si l'on utilise des appareils sophistiqués utilisant la robotique, le même apprentissage de gestes de base est nécessaire.

### Des simulateurs voisins des simulateurs utilisés dans l'industrie aéronautique ou dans les transports pour les gestes de base en endoscopie

Les gestes de base en endoscopie peuvent être réalisés sur des modèles plus sophistiqués, véritables simulateurs voisins des simulateurs utilisés dans l'industrie aéronautique ou dans les transports. Ces appareils sont essentiellement destinés à

se familiariser avec la progression de l'endoscope dans la cavité anatomique considérée (intestin, bronches, vessie, urètre). Ils peuvent utiliser des instruments simples ou aider à la pratique de gestes de base comme les biopsies, la cautérisation d'un polype... Il s'agit là de gestes simples. L'amélioration de ces matériels et leur facilité d'utilisation dans un environnement qui n'est pas un laboratoire les rendent particulièrement intéressants pour ce type de formation, malgré leur coût initial qui peut paraître trop important.

### Des pièces anatomiques humaines pour apprendre la topographie

Les gestes plus complexes, comme la dissection, la réalisation de la résection d'une tumeur ou d'un organe, nécessitent des modèles plus complexes. La topographie des différents éléments du champ opératoire et le rapport des uns avec les autres représentent des éléments qu'il faut connaître, donc apprendre. La meilleure simulation repose ici sur l'utilisation de pièces anatomiques humaines. Celles-ci, à l'aide de préparations particulières destinées à conserver aux tissus une souplesse maximale, permettent de reproduire et d'enseigner l'anatomie topographique utilisable en chirurgie ouverte et en endoscopie. Les pièces anatomiques humaines se prêtent parfaitement à la simulation d'interventions de chirurgie ouverte ou même coelioscopique. Cette simulation concerne l'abord de la région anatomique considérée, elle n'arrive pas à reproduire la pathologie pour laquelle l'entraînement est réalisé : athérome, tumeur, malformation...

L'utilisation de pièces anatomiques nécessite l'existence d'un laboratoire destiné à recevoir des cadavres humains dans des conditions d'hygiène et d'éthique irréprochables, ce qui est disponible seulement dans certains centres universitaires importants.

### Des simulateurs informatisés pour l'apprentissage de la dextérité et de la manipulation des instruments chirurgicaux

L'utilisation de simulateurs informatisés apporte à ce stade un intérêt principalement basé sur l'apprentissage de la dextérité et de la manipulation des instruments chirurgicaux. Il faut avouer qu'au stade actuel les simulateurs n'apportent pas le réalisme parfait dans la manipulation des structures anatomiques puisqu'il n'existe pas de retour de force par rapport aux tissus manipulés permettant de percevoir leur résistance, leur élasticité, leur tension. Ces propriétés, souvent utilisées en chirurgie, donnent un retour d'information au chirurgien, lorsqu'il s'agit par exemple de pédiculiser un organe ou une tumeur avant d'en pratiquer l'ablation. Des recherches sont mises en œuvre actuellement pour améliorer ces simulateurs, et particulièrement leur apporter les sensations tactiles des tissus manipulés, leur élasticité et leur souplesse. L'utilisation de ces manipulateurs permet de limiter l'usage des pièces anatomiques ou des animaux de laboratoire encore largement utilisés mais dont le coût financier et l'éthique tendent à limiter l'utilisation.

### L'animal de laboratoire pour la perception tactile

L'animal de laboratoire peut être utilisé pour simuler des gestes encore plus complexes. L'anatomie de l'animal n'est pas toujours exactement concordante avec celle de l'homme mais la similarité des structures et la perception tactile que l'on en a en font un terrain absolument idéal pour l'apprentissage des gestes complexes ou des associations de gestes. Le rat est utilisé pour l'apprentissage de la microchirurgie, en particulier vasculaire. La texture des artères, en particulier de l'aorte, est voisine de celle des petites artères utilisées dans les lambeaux pédiculés en clinique humaine. L'apprentissage porte ici essentiellement sur la réalisation des anastomoses vasculaires, la microdissection, mais pas sur les données anatomiques nécessaires à la confection du lambeau vascularisé par

exemple. L'intérêt d'utiliser le modèle *in vivo* réside dans le réalisme des tissus et dans l'aspect fonctionnel (hémorragie au niveau de la suture, thrombose immédiate, mesure du débit...). Le porc est le modèle pour l'apprentissage de la chirurgie ouverte et de la coelioscopie. Il permet de réaliser les gestes complexes évoqués plus haut, la similarité de l'anatomie de cet animal avec l'homme n'est pas complète mais la réaction des tissus, lors de la dissection ou de la suture, est tout à fait similaire, ce qui rend ce modèle indispensable pour la formation aux gestes complexes : chirurgie vasculaire, résection de segments hépatiques ou rénaux.

L'utilisation des animaux nécessite une infrastructure répondant aux exigences de l'agrément par les services vétérinaires qui comportent des installations d'animalerie permettant la stabulation des animaux, des installations chirurgicales et anesthésiques ainsi que des compétences pour la réalisation d'anesthésie. L'agrément est également celui des personnels utilisant et manipulant les animaux de laboratoire (niveau un ou deux en expérimentation animale) ; il est conditionné par la présentation des protocoles précis destinés aux services vétérinaires décrivant les différentes manipulations réalisées et les conditions dans lesquelles les animaux sont sacrifiés et leurs carcasses évacuées. L'utilisation des animaux représente ainsi un coût important, qu'il faut limiter au maximum par l'utilisation de simulateurs informatisés.

### Simulateurs informatisés pour la planification d'interventions très complexes

À un stade supérieur, les simulateurs informatisés peuvent aider à la planification d'interventions très complexes (ablation de tumeur hépatique, mise en place de prothèses articulaires, navigation intracrânienne). Le traitement des images personnelles du patient (IRM scanner) par des procédés de fusion d'images, en trois dimensions, permet d'intégrer dans un simulateur les données anatomiques particulières du patient dans le but de préciser la tactique opératoire à l'avance en fonction de la profondeur de la lésion, des rapports avec les différents éléments vasculaires de l'organe considéré... Ce type de simulateur est actuellement en cours de mise au point dans des centres pilotes en collaboration avec des instituts de recherche spécialisée en informatique comme à Strasbourg, Lille, Nice ou Grenoble.

### Les Écoles de chirurgie

Les Ecoles de Chirurgie, comme il en existe quelques modèles en France, sont des plateformes destinées à la formation initiale des jeunes chirurgiens de toutes les spécialités et à la formation continue. Elles constituent des plateformes où sont disponibles des instruments de simulation mais offrent en plus d'autres modèles (3). Dans l'idéal, cette plateforme doit pouvoir utiliser à la fois des pièces anatomiques et des animaux de laboratoire, en plus des simulateurs informatisés. Il doit s'agir de véritables laboratoires de méthodes innovantes dans le domaine de la pédagogie.

Un certain nombre de spécialités chirurgicales (chirurgie générale, urologie, chirurgie vasculaire...) ont intégré dans le cursus normal des internes de spécialité des séances d'entraînement pratique. L'existence de laboratoires pharmaceutiques manifestant la volonté d'un partenariat ou de fabricants de matériel chirurgical permet une aide financière qui rend possible ce type de formation particulièrement coûteuse. Quelques laboratoires de ce type, particulièrement bien équipés, existent à Strasbourg, Paris, Clermont-Ferrand, Lyon, Toulouse... Leur pérennité dépend pour la plupart du partenariat public-privé et du financement réalisé par l'intermédiaire de la formation continue. Certaines sociétés savantes ont mis en place des modules de formation réalisés chaque année pour acquérir une formation supplémentaire dans tel domaine très précis. La société française d'endoscopie digestive, en

gastro-entérologie en particulier, a mis sur place ce type de formation utilisant des simulateurs et des modèles utilisant le tube digestif d'animaux morts. Le mode DSTC (*Definitive Surgical Trauma Care*) propose à ses adhérents des formations, en particulier sur modèle animal, au cours desquelles des lésions viscérales d'intensité croissante sont réalisées par l'enseignant, et reconnues puis réparées en temps limité par étudiant. Certaines sociétés d'endoscopie digestive utilisent des tests de dextérité pour la certification des praticiens (4). L'efficacité des simulateurs sophistiqués est en fait difficile à démontrer, la méthodologie même de mesure des progrès réalisés par les étudiants est très difficile à élaborer (5). De nombreuses études, dont l'étude actuellement en cours organisée par l'Association française de chirurgie, se sont attachées à évaluer la capacité d'un étudiant ayant suivi un enseignement de ce type a réalisé une intervention standard, par rapport à un étudiant naïf. La difficulté de ces d'études tient au fait que l'étudiant ayant bénéficié de l'enseignement par simulation reçoit, par ailleurs, un enseignement par compagnonnage au cours de sa formation (6). La difficulté tient aussi au fait qu'en plus des gestes techniques et des règles générales d'une intervention, il faut aussi avoir un comportement particulier devant une situation inattendue, ce dernier point n'étant pas intégré dans les simulateurs, qui n'en sont au stade que de simulateur de gestuelle, répondant aux deux premiers points de Rasmussen (7). Plusieurs études ont néanmoins montré que sur une intervention simple, la durée opératoire était diminuée pour les étudiants ayant bénéficié de ces méthodes pédagogiques (8). Des constatations similaires ont été faites pour l'apprentissage de la chirurgie robotique (9). Dans le cadre de la formation chirurgicale, il faut distinguer la formation gestuelle de base qui, à l'évidence, est bénéfique pour l'interne, puis la formation avancée, qui fait plus appel à la réflexion et à la tactique opératoire et pour laquelle la simulation ne doit pas être gestuelle uniquement mais aussi comporter des scénarios de conduite à tenir.

## Conclusion

Les simulateurs utilisés dans la formation des médecins apparaissent comme des outils très utiles et validés pour reproduire les situations observées en clinique. Pour un grand nombre de disciplines médicales, des logiciels permettent de simuler des cas cliniques et d'apporter à l'étudiant les informations nécessaires à la compréhension des questions considérées. Lorsqu'il s'agit de gestes techniques, les simulateurs informatisés permettent aux jeunes chirurgiens d'acquérir la plupart des gestes de base nécessaire à leur futur exercice. Ces simulateurs ne présentent pas encore toutes les qualités de réalisme, et notamment ne sont pas capables de transmettre à l'opérateur les sensations tactiles et l'élasticité des organes opérés.

Les plateformes d'utilisation et de développement de ces outils, des animaux de laboratoire et de pièces anatomiques réelles, telles que l'on peut les rassembler dans les Écoles de chirurgie, permettent d'utiliser l'ensemble des ressources disponibles en limitant au maximum le coût lié à l'utilisation des animaux de laboratoire et en respectant sur le plan éthique l'utilisation de ces derniers. Ces plateformes permettent d'optimiser la formation des chirurgiens à des gestes techniques utilisant des outils de plus en plus complexes.

## Références

1. Torkington J, Smith SG, Rees BI, Darzi A. The role of simulation in surgical training. *Ann R Coll Surg Engl* 2000 ; 82 : 88-94.
2. Rassweiler J, Klein J, Teber D, Schulze M, Frede T. Mechanical simulators for training for laparoscopic surgery in urology. *J Endourol* 2007 ; 21 : 252-62.
3. Haluck RS, Satava RM, Fried G, Lake C, Ritter EM, Sachdeva AK, et al. Establishing a simulation center for surgical skills: what to do and how to do it. *Surg Endosc* 2007 ; 21 : 1223-32.
4. Fried GM. Lessons from the surgical experience with simulators: incorporation into training and utilization in determining competency. *Gastrointest Endosc Clin N Am* 2006 ; 16 : 425-34.
5. van Hove PD, Tuijthof GJ, Verdaasdonk EG, Stassen LP, Dankelman J. Objective assessment of technical surgical skills. *Br J Surg* 2010 ; 97 : 972-87.
6. Secin FP, Savage C, Abbou C, de La Taille A, Salomon L, Rassweiler J, et al. The learning curve for laparoscopic radical prostatectomy: an international multicenter study. *J Urol* 2010 ; 184 : 2291-6.
7. Wentink M, Stassen LP, Alwayn I, Hosman RJ, Stassen HG. Rasmussen's model of human behavior in laparoscopy training. *Surg Endosc* 2003 ; 17 : 1241-6.
8. Laguna MP, de Reijke TM, Wijkstra H, de la Rosette J. Training in laparoscopic urology. *Curr Opin Urol* 2006 ; 16 : 65-70.
9. Sethi AS, Peine WJ, Mohammadi Y, Sundaram CP. Validation of a novel virtual reality robotic simulator. *J Endourol* 2009 ; 23 : 503-8.