# Aux frontières du réel : le patient dans tous ses états. Une typologie des différents modèles utilisés pour la simulation en santé aux États-Unis

C. Léonce

Article reçu le 1er octobre 2013, accepté le 3 février 2014.

**Résumé**

Le volume des connaissances scientifiques et les contraintes croissantes pesant sur l'ensemble des disciplines de santé ont considérablement transformé l'approche didactique et la pratique professionnelle durant ces dernières années. Le statut même du patient moderne, replacé au cœur du système de santé, implique un rapport complexe et délicat avec la communauté médicale. La simulation en santé s'est adaptée à ces bouleversements et apporte, par l'innovation et la technologie, une contribution significative à l'amélioration des prestations de soins. Ses applications ne se cantonnent plus uniquement à la pédagogie, la formation ou à la recherche mais abordent également d'autres domaines médicaux comme le diagnostic, la thérapeutique ou le management. L'ensemble de ces actions croisées ambitionne, par l'utilisation de modèles et programmes spécifiques, d'améliorer autant l'efficience systémique que la sûreté du parcours de soins de chaque usager. Cet article passe en revue les modalités existantes de simulation en santé aux États-Unis, centrées sur le patient et impliquant la prise en charge de situations et le suivi de protocoles les plus complexes. La plupart des disciplines médico-chirurgicales bénéficient déjà des diverses techniques abordées avec une mention particulière pour la médecine de guerre.

Mots-clés : Mannequins d'entraînement. Réalité virtuelle. *Serious game*. Simulation en médecine.

**Abstract**
**Beyond reality: Patients in a state! A typology of various models used for medical simulation in the United States.**

The large amounts of scientific knowledge and increasing constraints on all health disciplines have transformed both didactic approaches and medical practices in recent years. In addition, the patient-centered medical concept implies a more complex and delicate relationship with the medical community. Medical simulation has adapted to these changes and made a significant contribution to the improvement of health feedbacks through innovation and new technology. It is no longer confined to teaching or research, but deals with other areas such as diagnosis, treatment or management. All these cross-actions aim at improving the efficiency of the system as much as the patients' safety through the use of models and specific programs. This paper reviews existing methods of patient-centered medical simulation in the United States, impacting most medical or surgical disciplines and especially military medicine.

Keywords: Medical simulation. Training manikin. Serious games. Virtual reality.

## Introduction

La simulation en médecine (MEDSIM) correspond à de multiples définitions qui ont évolué ces dernières années, au gré des adaptations conceptuelles et technologiques. Entre autres, on peut citer celle du Professeur David M. Gaba (1) datant de 2004 pour ce terme (2) générique qui désigne une notion de représentation artificielle de la réalité destinée à atteindre des objectifs par un apprentissage résultant de l'expérience. La modélisation, qui lui est souvent associée, permet par la création de modèles simplifiés, de répliquer des phénomènes physiques

C. LEONCE, médecin en chef, praticien confirmé.
**Correspondance :** Monsieur le médecin en chef C. LEONCE, French Medical Liaison Officer, Office of the US Army Surgeon General, Health Policies and Services, 7700 Arlington Boulevard – Falls Church, VA, 22042 – United States.
E-mail : christian.leonce.fm@mail.mil

ou physiologiques complexes utilisables pour d'autres domaines santé comme la recherche, la thérapeutique ou le management (du parcours de soins jusqu'à la crise sanitaire). La complexité du savoir et des techniques médicales ainsi que le statut rénové du patient moderne ont nécessité l'apport de nouveaux concepts et outils de formation faisant appel de plus en plus à la simulation. Ce patient, représenté avec plus ou moins de fidélité par des modèles vivants, synthétique ou dématérialisé est capable désormais d'interactivité et même de communication avancée, donnant des ouvertures vers de nouveaux champs d'applications. Des environnements et des programmes de formation complets ont été conçus pour le mettre en œuvre au sein de centres de simulation spécialisés ou de structures de compétences cliniques. Son usage s'est étendu à l'ensemble des disciplines médico-chirurgicales, même les plus contraignantes, avec un volet significatif consacré à la médecine de guerre. Durant la dernière décennie de conflits, la prise en charge du blessé en opérations au sein des armées américaines a bénéficié d'avancées spectaculaires grâce notamment aux importants investissements consentis par le *Military Health System* (MHS) (3). Ce dernier se révèle comme un acteur de premier plan dans le domaine de la MEDSIM en s'étant constitué des savoir-faire spécifiques et des capacités importantes, résultats de ses collaborations fructueuses avec les secteurs académiques et industriels. Ses efforts ont contribué à améliorer considérablement le parcours de soins du patient tout au long de la chaîne d'évacuation ainsi qu'au sein de ses hôpitaux.

## La simulation par le patient

### *L'évolution chronologique*

Les premiers simulateurs médicaux n'ont émergé qu'à partir du 16e siècle sous la forme de mannequins rudimentaires destinés à l'enseignement de l'obstétrique. C'est en 1759 que devait apparaître en France, un modèle plus abouti avec la célèbre « Machine » de Madame du Coudray (4), un mannequin d'accouchement ou plus précisément un simulateur de geste (5), utilisé pour de véritables programmes de formation à destination des sages-femmes. Ultérieurement, la « *Chase Hospital Doll* » (6) conçue en 1911, initia les infirmières stagiaires de l'hôpital d'Hartford dans le Connecticut (États-Unis) autant à la prise en charge globale des patients qu'à la pratique de gestes techniques paramédicaux. Ce type de support pédagogique devait être le précurseur des mannequins modernes tels Resusci®Anne, fabriquée 50 ans plus tard par A. Laerdal dans le but de vulgariser l'enseignement des premiers secours. L'avènement de l'électronique et de l'informatique durant le tournant des années 70 devait encore élargir la gamme avec des modèles plus interactifs comme *SimOne* conçu pour des mises en situations ou « drills » (7) d'anesthésie-réanimation et *Harvey*, le premier à être interfacé avec un ordinateur pour proposer un vaste répertoire de pathologies cardiaques.

Vers la fin des années 80, apparaissaient les premiers simulateurs de chirurgie mini-invasives de type endoscopique et le prototype du système « da Vinci » réalisé pour l'US Army, préfigurant la robotique applicable à la chirurgicalisation de l'avant. Cette période d'essor de la Réalité virtuelle (RV) vit aussi l'émergence de concepts et de programmes mettant en œuvre des personnages fictifs évoluant dans des mondes artificiels. Les avatars, ces doublures virtuelles personnalisées et pilotées allaient bouleverser l'univers du jeu et de la simulation. Mués en patients par l'application du concept de *gamification* (8) au domaine de la santé, ils ont enrichi le répertoire pédagogique par des mises en situation et l'application méthodique de protocoles médicaux. Utilisés très tôt en psychiatrie pour traiter les syndromes phobiques, leurs indications se sont étendues grâce aux avancées de l'Intelligence artificielle (IA).

Durant les dernières années de conflit en Irak et en Afghanistan, les besoins de formation en médecine de guerre ont entraîné la création rapide d'un réseau de plateformes de simulation au sein des armées américaines. Elles ont été dotées des dernières technologies immersives d'une gamme élargie de mannequins modernes dont l'*Human Patient Simulator* avec ses capacités physiologiques avancées. Avec ce bouleversement des méthodes pédagogiques, s'est fait sentir le besoin de nouvelles technologies à mettre à la portée du plus grand nombre. Les jeux sérieux ou *serious games* (9) sont ainsi apparus sous forme de didacticiels interactifs, accessibles et mobiles, conçus pour ordinateurs, téléphones portables ou tablettes. Les applications du domaine santé avaient pour objectifs de vulgariser, de réviser et d'ancrer dans la durée les savoir-faire et protocoles acquis en formation de médecine d'urgence (ou de guerre). D'autres innovations vidéo-ludiques comme la *Motion capture* de la *Kinect* ou la *Wii Board* vont également trouver des applications originales dans le domaine de la rééducation fonctionnelle des blessés, en améliorant leur équilibre et leur coordination psychomotrice grâce à l'utilisation d'avatars créés à leur image. La réalisation plus récente du décor virtuel panoramique couplé avec un tapis roulant multi-directionnel constituant le *Computer Assisted Rehabilitation Environment* (CAREN) a apporté des techniques d'avant-garde de réadaptation à la marche (10) au profit de patients amputés et appareillés. Actuellement, le développement des applications en MEDSIM est en plein essor avec des perspectives engageantes qui influent de plus en plus sur l'évolution de la plupart des disciplines et fonctions médicales.

### *L'adaptation aux exigences*

De nos jours, les programmes pléthoriques et les contraintes de temps ont transformé en challenge l'enseignement des disciplines médico-chirurgicales. La profusion du savoir médical combinée aux pratiques et protocoles de soins toujours plus complexes se devaient de bénéficier d'applications comparables à celles d'autres activités jugées à risque comme le pilotage d'aéronefs, la gestion de centrale nucléaire (11) ou l'entraînement militaire de tous types. Ces applications

bénéficiaient déjà, de longue date, de systèmes sophistiqués et de méthodes bien rodées qui ont servi de guides pour le développement de la modélisation et simulation en santé. La possibilité de dérouler, sans risque et à moindre coût, des scénarii de situations catastrophiques, exceptionnelles et/ou impossibles à reproduire dans la réalité, a amélioré la qualité de l'entraînement et la performance globale des équipes d'intervention d'urgence, de convoyage médical ou de bloc opératoire. Différents modes de simulations ont été développés avec des systèmes générant des environnements et des situations visant à mettre en scène un à plusieurs acteurs. Elles sont classées en *Live, Virtual*, ou *Constructive* (LVC) selon leur degré plus ou moins important de participation humaine rapporté aux éléments de réalité virtuelle (fig. 1).

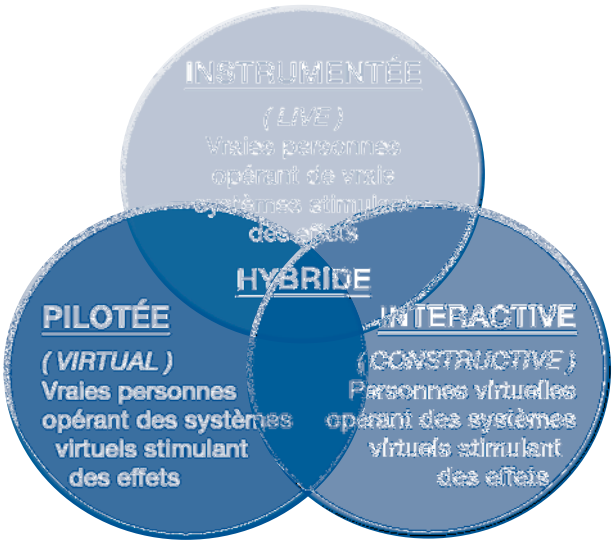



**Figure 1. Les différentes modalités de MEDSIM.**

Le panachage de ces méthodes et l'intégration des différents outils disponibles produisent des simulations hybrides très convaincantes offrant les meilleures expériences d'immersion. La qualité des programmes de simulation en santé contribue à un usage de plus en plus fréquent en vue de l'acquisition, de l'entretien et de la certification des compétences des professionnels de santé. Elle permet d'attester de l'assimilation des bonnes pratiques en garantissant la sécurité du patient. Aux États-Unis, les erreurs médicales restent un sujet majeur de préoccupation (12) exerçant une pression importante sur le personnel médical à cause du spectre de la judiciarisation. Les lacunes identifiées se situent aussi bien dans les registres de l'organisation du travail et de la gestion du temps que dans ceux de l'information et du mode de communication avec le patient. Le dialogue singulier qui sous-tendait auparavant la relation exclusive médecin-patient s'est, avec l'hyper technicité de l'environnement de santé, transformé en un dialogue pluriel avec des équipes médicales multidisciplinaires. Avec le concept du *Patient Centered Medical Home* (13), le statut même du patient a évolué de figurant passif à celui d'acteur principal, responsable de sa propre santé. Ne lui ayant durablement substitué qu'une représentation de corps-objet, la simulation en santé s'est depuis adaptée grâce au renfort de la technologie et des connaissances du facteur humain. Des procédés éprouvés comme la *Concept Map Care* (14) agençant le parcours de soins du patient ou l'*Objective Structured Clinical Examination* (OSCE) (15) séquençant et évaluant les différentes phases de son examen clinique, bénéficient désormais de dispositifs et de techniques de pointe en simulation pour une stratégie rénovée d'évaluation des compétences et des performances.

Ces accomplissements, vus sous un angle éthique, rendent désormais difficilement licite de former le personnel soignant, surtout en période initiale, aux dépens de véritables patients. Dans un registre connexe, le *Combat Casualty Care* (16) enseigné dans les centres de formation militaires utilise des modèles animaux pour figurer avec un haut degré de fidélité des patients polytraumatisés ou hémorragiques. Ces pratiques essentielles à l'instruction des *medics* fournissent les expériences sensorielles les plus réalistes mais continuent de susciter des critiques morales provenant du monde civil. Si leurs critères de coût, de sécurité et de salubrité les impactent défavorablement, elles représentent pourtant le support actuel le plus fiable pour l'apprentissage des gestes de sauvetage au combat. Leur arrêt programmé en 2017 par voie législative a engagé la recherche sur la piste des meilleures alternatives possibles en simulation (17) pour le domaine de l'enseignement.

Enfin, d'un point de vue managérial, ces patients d'entraînement ne sont qu'une partie des investissements à prévoir dans la création d'un centre. Afin de justifier de la pertinence des engagements en matériel et en infrastructure, il est impératif de définir au préalable les besoins effectifs, les champs d'applications potentiels, les objectifs recherchés et surtout l'intégration dans le projet pédagogique final. Dans l'attente de consensus global sur de possibles choix de standardisation, il convient de veiller au potentiel d'évolutivité et d'interopérabilité de tous ces systèmes.

## *La synthèse typologique*

Les meilleurs programmes de simulation sont bâtis sur mesure à partir de bases pédagogiques et de standards rénovés, alternant à la fois des sessions de simulation préparatoires et des méthodes d'enseignement classiques. Des centres de formation types intègrent des plateformes *high tech* recréant des environnements techniques, virtuels ou physiques, fidèlement reconstitués comme ceux d'une chambre d'hôpital, d'un bloc opératoire ou même d'un champ de bataille (18) (fig. 2).

Le personnel soignant immergé, prend en charge des patients fictifs, figurés par des acteurs, des mannequins ou des modèles virtuels. Quelle que soit leur nature (de chair ou de plastique, virtuel ou électronique) ou leur état (inanimé ou interactif), ils représentent des plateformes capables, à des degrés divers, de communiquer et d'émettre à la demande, des signaux verbaux, visuels, sonores, tactiles ou olfactifs. Cette expérience multi-sensorielle crée



**Figure 2.** ***Wide Area Virtual Environment*** **(WAVE) http://www.simcen.org/wave.html (*By courtesy of National Capital Area Medical Simulation Center*).**

des conditions d'entraînement très réalistes qui remportent l'adhésion des jeunes générations férues de technologie. Cette pratique réitérée *in silico* est un gage de réussite dans l'atteinte des objectifs pédagogiques et favorise la connexion souvent complexe entre le savoir académique théorique et la pratique clinique *in vivo*. Au-delà de l'acquisition de compétences techniques et procédurales ou de validation de protocoles de soins, ces actions de formations contribuent aussi par le drill à évaluer le *leadership* et la *team performance* des équipes médicales notamment avant une projection. L'objectif est d'améliorer leur organisation, leur coordination (*team management*) et leur communication (verbale et non verbale) ainsi que leur capacité à réagir face à une situation d'urgence ou de stress. Ce travail d'évaluation, à la fois collectif et individuel, fournit après une phase indispensable de débriefing, une opportunité d'amélioration des performances par l'expérience en repoussant les limites de chacun (privation de sommeil, danger, travail nocturne). Ces programmes taillés sur mesure, empruntant autant aux jeux de rôles qu'à des simulations hybrides mêlant environnement réel et virtuel, concourent à augmenter la cohésion et la confiance parmi les opérateurs et à entretenir (ou rectifier) leurs savoir-faire au plus grand bénéfice de la sécurité du patient.

Un modèle anthropomorphique n'est pas toujours indispensable car la zone d'intérêt peut se limiter à un organe, un appareil ou une procédure instrumentée. Aussi, pour l'apprentissage de gestes techniques spécifiques, une pratique réitérée et sans risque sur un *task trainer* synthétique ou virtuel peut parfois remplacer ou tout au moins préparer à l'exercice pratique sur cadavre ou modèle animal. L'étape suivante doit impérativement intégrer la technique dans un mouvement d'ensemble (19) avec des méthodes pédagogiques bénéficiant de la simulation pour cibler les ressorts psychologiques de la perception et de la motivation, variables selon les individus. Les processus mentaux d'apprentissage s'appuyant sur l'attention, la réflexion, la compréhension, la mémorisation, et l'imagination (20) vont déterminer les axes de travail nécessaires pour influer durablement sur les habitudes et les comportements.

La demande croissante et variée en MEDSIM a ainsi constitué une typologie abondante appuyant des méthodes pédagogiques plus ou moins complexes. Pour chaque objectif recherché, l'emploi d'un à plusieurs outils de catégories distinctes, parfois combinés pour réaliser des simulations hybrides, est en mesure de déclencher ces mécanismes psychologiques et comportementaux (fig. 3)

| Typologie MEDSIM | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ORGANIQUE | | | HYBRIDE | ARTIFICIEL | | | |
| Animal | Homme | | Acteur + | Synthétique | | Électronique | |
| Cadavre/ Vivant | Cadavre | Vivant | | Patient | Procédure | Patient Procédure | Environnement |
| ☐ **Modèle animal** *Live tissue*<br>☐ **Cadavre animal**<br>☐ **Éléments, organes ou tissus** | ☐ **Cadavre humain préparé**<br>☐ **Cadavre humain conservé** →*Formaldéhyde* →*Plastination*<br>☐ **Pièces anatomiques organes ou tissus** | ☐ **Figurant passif**<br>☐ **Acteurs, comédiens**<br>☐ **Patient standardisé (PS)** | ☐ **Équipé d'accessoires** moulage, grimage dispositifs : simulateur accouchement, hémorragie<br>☐ **En immersion virtuelle** →***WAVE*** *Wide Area Virtual Environment* →***CAREN*** *Computer Assisted Rehabilitation Environment* →***HMD*** *Head Mounted Display/ Visiocasque*<br>☐ **En environnement physique reconstitué** Salle de compétences cliniques, salle d'opération, cabinet dentaire, unité médicale ops (UMO) | ☐ **Écorché, Organes, Tissus Synthétiques** →*SYNDAVERLABS*<br>☐ **Mannequin lesté** inerte<br>☐ **Mannequin basse fidélité**<br>☐ **Mannequin moyenne fidélité**<br>☐ **Mannequin haute fidélité**<br>☐ **HPS** ***Human Patient Simulator*** | ☐ **Simulateur chirurgical** Viscéral, gynécologie, ophtalmologie, orthopédie etc…<br>☐ **Simulateur Anesthésie** Induction Ventilation Respirateur<br>☐ **Task trainer gestuel** Sutures, ponctions Perfusions… →*SIMULAB*<br>☐ **Task trainer procedural** Premiers secours, Accouchement…<br>☐ **Task trainer Échographie** →*SYMBIONIX* | ☐ **Patient virtuel automatisé**<br>☐ **Avatar** *contrôlé par PS* Écran ordinateur Projection murale Holographie<br>☐ **Vidéos acteurs** en ligne ou préenregistrés<br>☐ **Modèles** physiologique pharmacologique biomécanique anatomique<br>☐ **Task trainer en laparoscopie** +/- haptique →*SYMBIONIX* →*DA VINCI*<br>☐ **Imagerie** Échographie, IRM, CT/PET Scan<br>☐ **Serious games** Jeu de rôles, protocoles de soins, Combat Casualty Care, procédures d'évacuation, et gestion des flux | ☐ **Monde virtuel** →*Second Live*<br>☐ **Clinique en ligne** →*Virtual Medical Center USAF*<br>☐ ***Serious game*** Logiciel ou en ligne<br>☐ **Applications** ordinateur tablette, téléphone portable<br>☐ **Entraînement et certification online**<br>☐ **Instruction** Visite virtuelle de structures (UMO) et de vecteur (C17) |

**Figure 3. La typologie de la MEDSIM.**

## Le patient en simulation

### *Le patient synthétique*

Le mannequin reste le produit phare en simulation, retrouvé dans tous les catalogues et comportant un choix varié allant du modèle rudimentaire de base à l'ultra technologique spécialisé. Il intègre plus ou moins d'électronique et peut être rendu interactif grâce à une interface informatique animée par un logiciel de gestion. Les différentes catégories proposées couvrent les critères d'âges (nourrisson, enfants, personnes âgées) et de conditions (femme enceinte) au profit de la plupart des disciplines médico-chirurgicales. Elles donnent des ouvertures sur des objectifs pédagogiques et des types d'emplois très différents.

### Le mannequin de basse fidélité

C'est le mannequin historique, celui pour lequel on se contente d'une forme humaine approximative sans recherche formelle de détail et sans possibilité d'interaction avec l'utilisateur. Il est inerte, plus ou moins lesté et parfois articulé pour lui faire tenir des postures. Ce gabarit, de conception robuste est destiné à tester ou à enseigner des procédures et des protocoles notamment dans le domaine du secourisme ou du sauvetage au combat. C'est celui que le *buddy* ou le *medic* dégage d'urgence d'un site ou d'un véhicule, celui qui par tous temps et tous lieux passe de main en main pour être pansé, immobilisé, brancardé et transporté tout au long d'une chaine d'évacuation. Des modèles possèdent des revêtements conçus pour passer en réel dans une chaîne de décontamination après une agression de type NRBC (21) ou offrent des possibilités supplémentaires d'intubation et de perfusion.

### Le mannequin de moyenne fidélité

Ce type de mannequin propose des interactions limitées avec l'utilisateur. L'instructeur pilote l'essentiel de ses réactions par l'intermédiaire d'une interface informatique. Il est idéal pour l'apprentissage procédural au sein d'un service médical, d'un centre hospitalier ou encore d'une salle de compétences cliniques d'un centre de simulation. Présentant des caractéristiques élaborées, le patient est inséré dans un environnement clinique complet (chambre hôpital, salle de soins) en bénéficiant de protocoles de soins infirmiers ou de gestes techniques spécifiques. Sous la supervision d'un instructeur, plus de 35 actes infirmiers (prélèvement sang, prise de tension artérielle, injections intraveineuses ou intramusculaires, soins de trachéotomie ou d'escarres, irrigations et toilette…) sont praticables sur un modèle comme *l'Advanced GERi™Manikin* (22) dont la tension artérielle et la fréquence cardiaque sont modulées grâce à un boîtier filaire. Plus sophistiquée, *Nursing Kelly* (23) (Laerdal) offre davantage de procédures et l'instructeur peut contrôler ses signes vitaux et réguler automatiquement ou manuellement le déroulement du scenario.

### Le mannequin de moyenne fidélité militarisé

Le *Tactical Operations Manikin* (TOM Man) (24) est un exemple de mannequin de moyenne fidélité dit *ruggedized* ou *rugged* (militarisé) spécialement conçu pour les besoins d'entrainement au *Combat Casualty Care*. Il est rustique et entièrement modulable (*customisable*) à partir de trois versions : basique, plaie par balles et blast complétées d'un jeu de « pièces détachés » permettant de reproduire les principales pathologies rencontrées en médecine de guerre (brûlure, polycriblage, amputation, trauma crânien, fracas facial). Il est animé par une interface, tablette ou ordinateur portable, qui permet de dérouler les scenarii habituels de sauvetage au combat en intégrant les gestes essentiels à maîtriser (contrôle hémorragies, exsufflation de pneumothorax, cricothyrotomie). Un *feedback* positif est affiché sur l'écran de la tablette de contrôle lorsque la liberté des voies aériennes supérieures est restaurée. Le modèle *Tamikin* est la nouvelle version féminisée.

### Le mannequin de haute fidélité

L'*Human Patient Simulator* (HPS) est le modèle phare de cette catégorie, développé par Meti (actuel CAE Healthcare). Il peut fonctionner de manière autonome, en pilotage automatique avec des scenarii préprogrammés ou activés manuellement. Il est capable de parler, de respirer et si besoin de saigner ou de convulser. Comme lui, *SimMan 3G Mystic* (Laerdal) (25) intègre des fonctions physiologiques et pharmacologiques modélisées et automatisées sur lesquelles peuvent influer les traitements ou les gestes entrepris par l'opérateur. Le tout est régulé à partir d'un logiciel sur un écran d'ordinateur portable ou sur une tablette PC qui peut être utilisé sans fil ou même sans mannequin. L'interface de pilotage affiche les données d'exercice et les constantes vitales en temps réel tandis que *Sim View*, une sorte de régie, séquence et enregistre tous les événements pour ensuite pouvoir les restituer en vue du débriefing. Ce type de mannequin spécialisé peut aussi recevoir des protocoles d'anesthésie et réagir aux différents dosages de substances injectées (*drug recognition kit*). Ses poumons sont capables d'authentiques échanges gazeux et ses voies aériennes peuvent s'obturer à la demande par laryngospasme ou bronchospasme. Tous les éléments de l'examen clinique de base sont réunis avec également des pupilles réagissant à la lumière et pouvant présenter aussi bien une mydriase qu'un myosis serré suivant le cas étudié.

D'autres mannequins modulables comme le *Trauma Man* (Simulab) fournissent une plateforme d'entraînement de base pour les gestes de médecine d'urgence. Ils peuvent être équipés en option d'un contenu additionnel afin de réaliser des procédures de chirurgie thoraco-abdominale d'urgence (26). Dans la même catégorie, Chloe (Gaumard) (27) est opérée en salle avec des instruments réels dans le cadre d'hystérectomie ou de grossesse extra-utérine. À l'ouverture, les différents plans sont retrouvés avec des saignements à l'incision et la mise en évidence d'organes plus vrais que nature ! Le débriefing s'effectue sur la base d'enregistrements réalisés sur des vues d'ensemble de la salle ainsi qu'avec ceux de deux caméras placées en intra-abdominal. Ce type de mannequin offre une base d'apprentissage incomparable des gestes et des protocoles chirurgicaux, ainsi que la potentialité intéressante de gérer en équipe des situations critiques et/ou rarissimes tout en analysant la célérité, la précision et l'efficacité de l'exécution des procédures. Noelle (28) est la version obstétricale, répliquant toutes les séquences de l'accouchement suivies de celles de la prise en charge néonatale.

### Le mannequin de haute-fidélité militarisé

Ce créneau spécifique et spécialisé dans le trauma est largement investi par les principaux fabricants de mannequins (*Caesar* (CAE) (29), *Combat Hal*® (Gaumard) (30), *TraumaFX*®APL-PB (KGS) (31)). Ces produits ont été développés en collaboration avec diverses armées dont notamment les forces américaines. Ce type de mannequin, haute fidélité *ruggedized* est utilisé lors des exercices sur le terrain. Ses fonctions électroniques sophistiquées n'empêchent pas son acheminement tout au long de la chaine d'évacuation en résistant aux intempéries, aux écarts de température, aux chocs, aux vibrations et plus ou moins à l'altitude. Les fonctions cardio-respiratoires et la gestion des tableaux cliniques sont automatisables ou contrôlables à distance par l'intermédiaire de liaisons sans fil ayant une portée de 300 mètres. L'adjonction de divers accessoires reproduit l'essentiel des pathologies de guerre (fractures, hémorragies, amputations…) (fig. 4).

### Le physical task trainer

Le *task trainer* ou *part task trainer* synthétique est un outil pédagogique destiné à l'initiation ou à l'exercice pour des gestes ou des protocoles complexes et/ou risqués qui ne concernent souvent qu'un appareil du corps

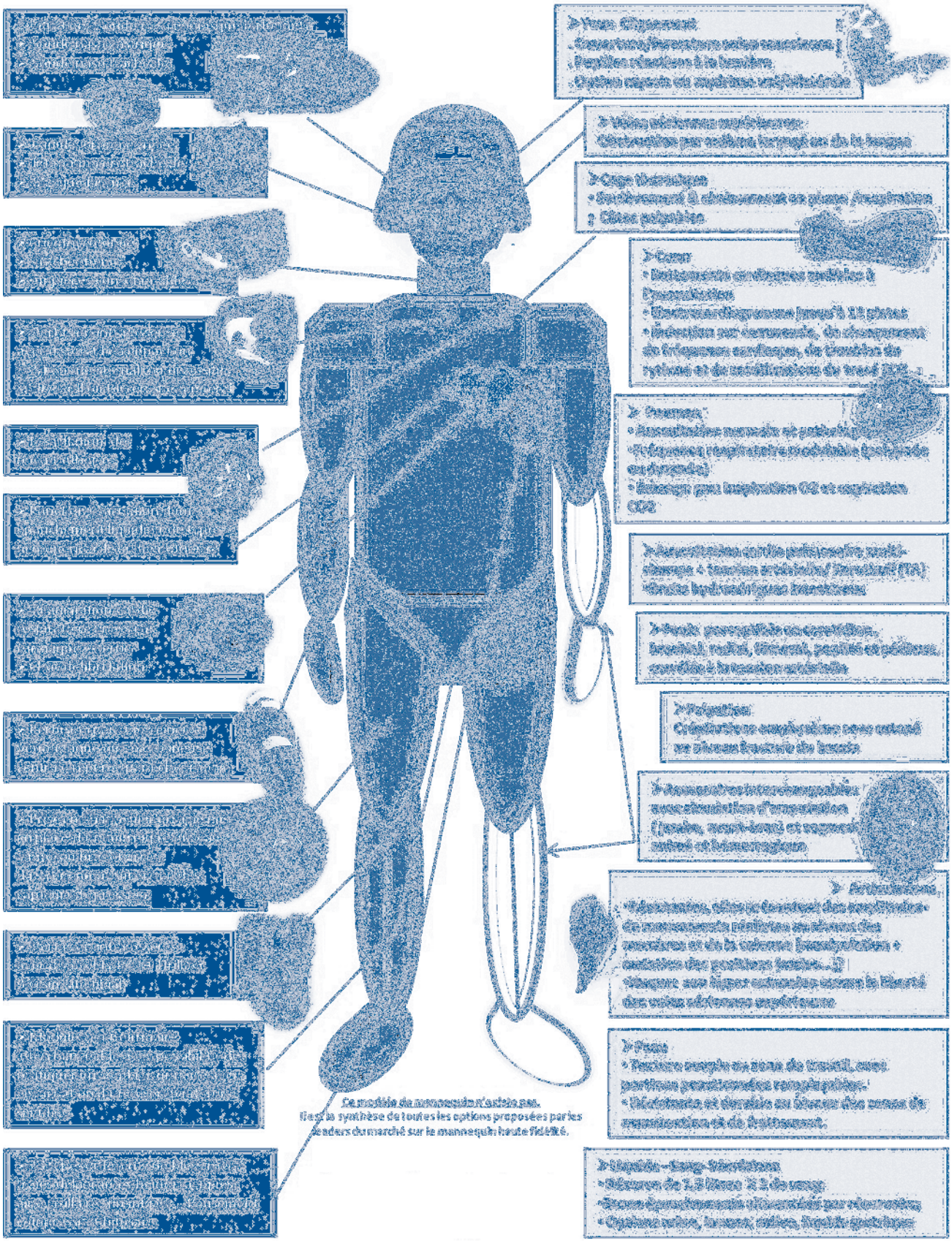


Figure 4. Le mannequin haute-fidélité *ruggedized*.

humain. Il vise à coordonner les actions, à solliciter les sens notamment tactile, à acquérir une certaine dextérité avec les instruments et à driller les protocoles d'urgence (pose de voie centrale, ponctions etc.) ou de chirurgie (classique ou endoscopique). Bien que l'objectif principal demeure l'acte technique, l'impact de la simulation dépend aussi d'éléments d'ambiance et peut être renforcé en usant d'artifices (ex : accessoire entouré de champs opératoires) pour donner l'illusion de traiter un patient. Cette notion est corroborée par le pourcentage de succès d'une cricothyrotomie sur *part-task trainer* qui est toujours largement supérieur à celui du même geste pratiqué sur un mannequin. C'est en effet l'influence du facteur humain qui peut perturber la qualité de l'acte technique du fait de la distraction causée par une apparence ou un visage. D'autre part, il convient de limiter « l'effet tunnel » qui, en focalisant toute l'attention sur une tâche spécifique, peut occulter la dégradation de l'état général du patient ou celle de l'environnement tactique. Le *task trainer* reste un outil essentiel pour la formation initiale ou la remise à niveau de gestes complexes ou dangereux et, tout en admettant le droit à l'erreur, il est un préalable utile au travail ultérieur sur des ressources comptées comme le *live tissue* (modèle animal) ou le *cadaver lab* (cadavre frais, décongelé ou conservé par traitement).

L'ultrasonographie bénéficie également d'outils de simulation tel le mannequin d'exercice de l'*U/S Mentor* de Simbionix (32). La maîtrise de l'usage du transducteur, l'aptitude à se repérer en 3D à partir des images 2D du moniteur puis la capacité de reconnaître des images pathologiques ou leur absence s'acquièrent par un entraînement intensif et rendent la spécificité et la sensibilité de cet examen foncièrement opérateur-dépendant. Parmi les différents scenarii, l'identification d'épanchements intra-abdominaux lors de la réalisation du protocole *Focused Abdominal Sonography in Trauma* (FAST) en médecine d'urgence revêt un intérêt évident pour la médecine de l'avant.

D'autres systèmes purement sensoriels sont disponibles et exercent par exemple le sens tactile à discriminer une palpation clinique normale d'un examen présentant des anomalies. Le *Clinical Breast Exam Simulator-Trainer (Mammacare*) (33) est un modèle synthétique présentant les caractéristiques tactiles d'un sein humain. L'exercice consiste à détecter par palpation différentes tumeurs mammaires allant en taille décroissante. Des capteurs de pression intégrés sont connectés à une interface d'ordinateur guidant le geste de palpation et familiarisant le sens du toucher au dépistage des masses les plus petites. Sans électronique mais tout aussi efficace et reproductible, le modèle synthétique *Life/form® Prostate Examination Simulator* (34) apprend à distinguer une prostate sans anomalie d'une autre présentant une tumeur avec trois modèles inter-changeables correspondant aux stades habituels de la maladie. Enfin, le *Testicular Exam Simulator* (35) est un « modèle de poche » dont la simplicité de présentation et d'emploi contraste avec la complexité de la conception et du choix des matériaux constitutifs pour aboutir à un résultat assez convaincant.

## *Le patient simulé*

### Le figurant, l'acteur improvisé et le comédien

Plus que la technologie, c'est la qualité du *script* et du *story board* mis en œuvre par des acteurs correctement briefés qui parachève une séquence réussie. Cependant, la qualité et la motivation de joueurs permutant habituellement leurs rôles, peuvent s'avérer fluctuantes. Pour remédier à ce type d'inconvénient, des sociétés (36) proposent au sein de centres de formation spécialisés, les services de comédiens professionnels qui animent des sessions qualifiées d'hyperréalistes en tirant bénéfice de décors et de trucages dignes du cinéma hollywoodien !

### Le Patient standardisé (PS)

Ce concept datant des années 60 s'est dernièrement considérablement développé. La profession de ces acteurs d'un genre particulier s'est organisée (Association of Standardized Patient Educators – ASPE (37)) remplissant désormais des critères de formation solides et homogénéisés. Un PS ne se contente plus de tenir un rôle, de déclamer un texte, de dérouler un scenario ou d'exprimer des émotions de circonstances. Il est devenu un *patient instructor* formé à l'approche pédagogique et capable d'évaluer les performances, non seulement des praticiens en cours de formation initiale mais également celles des autres catégories de personnel de santé à des stades divers de leur cursus professionnel. Il contribue ainsi aux processus d'évaluation de formation continue et de recertification. Son champ d'action principal correspond à la relation ou la communication médecin-malade en jouant le patient irascible ou celui touché par l'annonce d'une maladie grave. D'autres utilisations du PS sont possibles en éducation et en promotion de la santé dans le cadre du suivi de maladies chroniques ou systémiques. L'apprenant trouve une aide appréciable dans l'acquisition des éléments de langage et la mise en confiance par le drill avant d'être « lâché » en consultation face à de vrais patients en difficulté.

En principe, l'examen physique complet n'est pas réalisable avec un PS. Cependant, un système comme celui du *Lecat's Ventriloscope* (38) permet de prolonger la consultation en répliquant notamment des affections cardio-pulmonaires. Le principe repose sur une base de données audio enregistrées dont les sons, envoyés sur commande directement dans les écouteurs du stéthoscope, simulent des anomalies auscultatoires cardiaques ou pulmonaires, des souffles vasculaires ou encore les bruits de Korotkoff décalés d'une prise de tension artérielle pathologique. Le PS, ou un observateur externe, contrôle ces retransmissions sonores à l'aide d'un boîtier et les arrête dès le retrait du pavillon. En continuité des données d'interrogatoire comprenant les antécédents personnels et familiaux ainsi que la description des symptômes, cette approche pédagogique permet d'intégrer en cohérence une partie d'examen habituellement non abordée avec ce type de modèle.

## *Le patient grimé*

Ce sont essentiellement les mises en scène de cas cliniques en médecine d'urgence et en traumatologie qui

recourent à du grimage et à divers artifices. Les scenarii joués notamment en médecine de guerre sont ainsi rendus à la fois réalistes et pédagogiques. La maîtrise de ces techniques requiert des formations spécifiques, des connaissances avancées en anatomie et en traumatologie ainsi qu'un savoir-faire « artistique » avéré. Un grimeur performant représente un véritable investissement contribuant à une meilleure préparation des *medics* autant sur le plan mental que technique. Il introduit par la qualité de ses réalisations une notion de *stress inoculation* que l'apprenant va apprendre à gérer en prenant en charge des situations inattendues ou des tableaux catastrophiques immergé en ambiances chaotiques.

## Maquillage

La simulation médicale bénéficie de la longue expérience du monde du cinéma et de la mode (cosmétiques). Des variantes de produits de beauté ont été développées pour cet usage particulier avec des colorations cutanées suggestives (pâleur, cyanose, rougeur) dont le meilleur aspect est obtenu avec l'application de pigments micronisés appliqués à l'aide d'un aérographe (*airbrush*). Ce travail de peinture combiné à l'application de matériaux de type *Plasto Wax*, une pâte composée de cire naturelle utilisée au théâtre, permet avec un minimum de technique, de figurer sur de petites surfaces des textures pathologiques crédibles (hématomes, nécroses, brulures).

## Blessures

Le mot français de moulage a intégré le vocabulaire technique courant américain et désigne ici, autant les moulages et les plâtres que l'art d'utiliser des accessoires pour figurer de fausses blessures. Il existe des blessures ou des fractures adhésives de grande qualité visuelle, prêtes à l'emploi dans des kits comme l'*Ultra High Fidelity Casualty Simulation Moulage Makeup Kit* (39) utilisé dans les centres de formation de l'US Army. Elles sont combinées à un travail sur les textures avec des applications de chair artificielle, de latex ou de silicone (40). Des supports en mousse/gélatine nécessitent plus de technique et de savoir faire. Le principe est, en évitant de nuire au figurant (ou au mannequin), d'obtenir des effets réalistes à l'aide de pièces factices susceptibles d'être posées et retirées rapidement tout en résistant aux manipulations, à la sudation ou aux intempéries. Elles peuvent en option être imprégnées d'effluves diverses comme l'odeur de chair brulée, de sueur, d'urine ou de vomissement car l'usage du registre olfactif rajoute souvent des effets convaincants et puissants à même d'agrémenter une mise en scène (MST) (41).

## Hémorragies

Sur le terrain, les hémorragies sont des urgences vitales souvent génératrices de stress pour le premier intervenant. Les scenarii de *Combat Casualty Care* et le drill préparent à ces situations dont le sang reste l'accessoire incontournable. Du colorant rouge appliqué sur les vêtements aux produits plus élaborés de type sang artificiel, tous doivent être hypoallergéniques, pratiques d'emploi (liquide ou poudre à reconstituer) et aisés à nettoyer (peau, vêtements, surface). La fluidité doit être suffisante pour ne pas boucher les tubulures des mannequins ou inactiver les tubes et canons de projection. Contrairement au cinéma où l'aspect visuel suffit, la couleur et le débit doivent correspondre à une lésion artérielle ou veineuse. De même, les propriétés mécaniques complexes du vrai sang (viscosité, caillots) sont pertinentes à reproduire afin de recréer les conditions et sensations réelles d'une manœuvre de compression d'hémorragie ou d'utilisation correcte du pansement hémostatique du type *Trueclot™ Simulated Hemostatic Gauze* (avec le *Trueclot™ Blood Simulant* – Luna (42)).

Un patient grimé (*live simulated casualty*) ou un mannequin d'entraînement peut être équipé d'un dispositif comme le *Field Expedient Blood Simulation System* (43) (FEBSS™) simulant jusqu'à huit zones distinctes et simultanées d'hémorragies. Porté sous les équipements, il a été durci et conçu pour les activités de terrain. Il est activé à distance par un émetteur sans fil et délivre instantanément de 2 à 7 mn de saignement continu. Le réseau de tubulures est alimenté par deux poches (*Bladder bags*) de 1,5 litre soit une quantité totale de 3 litres de sang, seuil de décompensation irréversible en cas d'inefficacité de la prise en charge.

## Accessoires

Ce sont des prothèses standards pouvant représenter un segment de membre ou son absence, une éventration aussi bien qu'une énucléation oculaire. Des prothèses hémi corporelles supérieures ou inférieures ajustées sur des acteurs apportent des effets saisissants pouvant occulter par illusion, une zone corporelle complète pour simuler fidèlement des pathologies polytraumatiques et/ou hémorragiques.

Le *Cut suit* (44) ou *Human Worn Partial Task Surgical Simulator*, est ainsi superposé au torse du figurant dont le jeu d'acteur et surtout la mimique faciale complètent le tableau. Cette prothèse d'environ 15 kg, constituée de différentes couches cutanées et tissulaires remplaçables, est susceptible d'être percée, découpée et écartée. La plupart des gestes techniques d'urgence (suture, coniotomie, drainage de pneumothorax…) sont réalisables sans risque pour l'acteur jouant le rôle d'un polytraumatisé grâce à l'équipement de base. Cette gamme propose un modèle avec un complément d'organes sous-jacents conçu pour des procédures chirurgicales d'urgence de type *damage control surgery* (laparotomie exploratrice, hémostase de gros troncs etc.) reproduisant le principe de vraies interventions sur le terrain.

Avec le Trauma FX® *Multiple Amputation Trauma Trainer*(45) (MATT®), c'est la partie inférieure du corps du figurant qui est dissimulée et remplacée par une prothèse animée par télécommande. Elle reproduit les délabrements importants habituellement occasionnés par des engins explosifs improvisés. La mise en scène impressionnante d'un sujet amputé des deux membres inférieurs et présentant des saignements abondants de type artériel impose du calme et de l'application de la part de l'opérateur. Au-delà de la gestion du stress, les garrots, souvent insuffisamment serrés en pratique courante, peuvent l'être correctement sur ce type de matériel, sans être préjudiciable au figurant. L'emballage du membre

amputé présentant une protrusion osseuse pose souvent un défi intéressant tant il perturbe les *medics* en comparaison du même geste sur le membre controlatéral au moignon bien circonscrit (fig. 5). D'autres blessures délabrantes et hémorragiques comme les plaies pelvi-périnéales sont simulées par des accessoires plus simples comme le *Blast Trouser* enfilé comme un short et raccordé à un ou plusieurs *bladder bags*.

On peut citer pour mémoire les accessoires relatifs à d'autres spécialités que le trauma avec des exemples tels les simulateurs de grossesse, d'obésité ou d'œdème de jambe, adaptés à la physionomie d'un figurant.



**Figure 5.** ***Multiple Amputation Trauma Trainer (MATT)*** **en action (*By courtesy of KGS*).**

## *Le patient artificiel*

Dans ce registre, le patient artificiel est totalement dématérialisé et électronique. Il s'expose sur divers supports et correspond à des disciplines et des approches plus spécifiques.

### Le modèle numérique

Le patient est représenté ici par une modélisation numérique en trois dimensions (3D) de toute ou partie de son anatomie. Les nouvelles gammes d'appareils radiologiques précis, plus rapides et moins irradiants associés à de performants outils de traitement d'images fournissent des modèles 3D en très haute résolution. Ces modélisations visualisées sur écran d'ordinateur (46), sur téléphone portable ou en grandeur nature sur table de dissection virtuelle (Anatomage) (47) sont idéales pour l'enseignement visuel de l'anatomie. Elles proposent une capacité de navigation intuitive et interactive pour une compréhension facilitée des rapports anatomiques par la suppression des éléments graphiques inutiles et façonnent la structuration spatiale et les schémas mentaux de mémorisation correspondants.

Il existe aussi la possibilité d'applications procédurales diagnostiques dont le meilleur exemple est la colonoscopie virtuelle (CV) (48). L'assemblage des différents clichés d'imagerie d'un patient (IRM, scanner) fournit une réplique parfaite de son colon en 3D. Une navigation en temps réel (*virtual fly-through*) ou encore une projection des images en mode stéréoscopique sur écran panoramique facilite l'exploration complète du conduit colique et la détection d'une éventuelle tumeur.

La chirurgie classique bénéficie aussi de possibilités technologiques similaires en vue notamment de la planification en amont d'interventions complexes. Le chirurgien peut tester les différentes options (voies d'abord, techniques, trajectoires optimales) et choisir la plus adaptée au patient. À l'avenir, un guidage supplémentaire du geste chirurgical sera aussi possible durant le temps opératoire grâce à des images en réalité augmentée directement projetées sur le patient.

### Le modèle virtuel

Le patient virtuel est un outil pédagogique qui se présente sous la forme d'un programme informatique reproduisant des scenarii établis sur la base de vrais cas cliniques. La représentation du patient peut se résumer à une photo et un dossier clinique ou plus souvent être figurée à l'écran par des images vidéo pré-enregistrées ou celle d'un avatar. Un dialogue est instauré entre le soignant qui pose des questions et le patient qui répond de manière automatique et pré formatée, soit par l'intermédiaire d'une Intelligence artificielle (IA) (49), soit par celui d'un instructeur ou d'un patient standardisé, présent en salle de contrôle ou connecté en ligne. Ce mode d'approche permet de s'exercer à l'interrogatoire d'un malade, à gérer des situations sensibles ou à conduire des séances d'éducation sanitaire (diabète, asthme etc.).

Au niveau des armées, les *social workers* issus du milieu civil et n'ayant pas de formation médicale spécifique, sont ainsi formés à l'une de leurs missions essentielles de suivi des blessés psychologiques. Des dialogues interactifs avec des avatars comme le Lieutenant Rocko (50) ou le Sergent Star sont mis en scène sur un écran d'ordinateur, en projection sur un grand écran mural ou sous forme d'un hologramme de taille humaine. Ce mode d'exercice permet de reconnaître plus rapidement les attitudes et les propos caractéristiques des patients atteints de *Post Traumatic Stress Disorder* (PTSD), de s'entraîner aux situations les plus fréquentes, de tester diverses approches de communication ou plus simplement de se familiariser avec le monde et le jargon militaire qui peuvent parfois compliquer le dialogue. Le même type d'application est actuellement en cours de développement pour la prise en charge initiale des agressions sexuelles en service. Cet outil apportera par des scenarii étudiés, un éclairage sur les conduites à tenir face à ces situations délicates tout en renforçant la sensibilisation et l'instruction des cadres et des soignants.

### Le modèle physiologique

Ce patient dématérialisé se distingue des modèles vus précédemment car il est décomposé jusqu'au niveau élémentaire de son métabolisme cellulaire. Cette gamme de simulateurs n'est pas basée sur le réalisme des graphismes, des animations ou des dialogues et situations mais plutôt sur la justesse et la fiabilité des processus et des réactions biochimiques. Ces modèles pourraient

ainsi, étalonnés avec un état physiologique de départ, « vivre » de façon autonome. *PureMedsim* (51) a tiré bénéfice de calculateurs puissants pour modéliser et obtenir sur un écran, les réactions au niveau des cellules, des tissus, des organes et des systèmes pour aboutir à celle d'un organisme au complet. La difficulté réside dans le fait que l'organisme ne se résume pas à une simple juxtaposition de systèmes et que les interactions physiologiques nécessitent de poser d'innombrables séries d'algorithmes et de variables. La représentation par exemple, de l'appareil cardio-respiratoire est construite sur une base de collections physiologiques statistiques. Il faudra encore quelques années pour collecter et intégrer les méta-analyses relatives à l'ensemble des systèmes pour produire des modèles plus conformes.

Actuellement, ce type d'outil interactif et pédagogique permet déjà une observation et un décryptage en temps réel de phénomènes complexes. Le Cardio Module apporte une compréhension des mécanismes électro-physiologiques au niveau cardiaque. À partir d'un état initial normal, l'injection virtuelle de substances médicamenteuses ou encore des générations d'incidents (rythmique, vasculaire) vont influer sur le patient avec l'apparition d'effets pharmacologiques aggravant ou améliorant son état. Il existe aussi des modèles de patient automatisés présentant les affections cardiaques les plus courantes (tachycardie ventriculaire, infarctus du myocarde etc.) dont les effets physiopathologiques peuvent être observés jusqu'au niveau cellulaire.

Ainsi, ce sont ainsi près de 132 880 paramètres biochimiques qui animent le total des 16 organes fonctionnant dans la version actuelle du logiciel. En plus des applications en enseignement et en recherche, il sera certainement possible à l'avenir d'intégrer les données cliniques d'un patient pour définir en temps réel une stratégie thérapeutique ou même une analyse pronostique.

## Le modèle électronique

Le patient se résume aux données graphiques d'enregistrement de ses paramètres vitaux affichés sur un moniteur multiparamétrique. Ces informations physiologiques fictives, correspondant à des scenarii normaux ou pathologiques, apparaissent sous forme de courbes, d'ondes et de valeurs numériques (électrocardiogramme, fréquence cardiaque, pression non invasive, saturation en oxygène, capnogramme…). Générées par un appareil de contrôle biomédical (*patient monitor tester*) comme ceux de la gamme ProSim (Fluke Biomedical) (52), ces données types permettent d'assurer le contrôle qualité et la maintenance des moniteurs multiparamétriques. Ces dispositifs médicaux essentiels en pratique hospitalière sont en effet extrêmement sollicités et doivent se conformer en permanence à une double exigence de sécurité et de fiabilité. Ce banc d'essai permet de tester les performances et les alarmes puis d'étalonner et de valider le dispositif en modulant des données de patient fictif. Cette application de la simulation, qui contribue significativement au processus de matériovigilance, impacte ainsi directement la qualité et la sécurité des soins des patients sous monitorage.

## Le modèle interactif

Ces modèles interactifs évoluent dans des décors virtuels reconstitués, visibles sur un écran d'ordinateur, projetés sur écran panoramique ou plus simplement accessibles sur téléphone portable (ou tablette). Les graphismes, les animations et les mises en scène sont conçus pour délivrer un maximum de réalisme. Les choix de symptômes ou de pathologies présentés par le patient sont illimités avec notamment les plus difficiles à reproduire par un acteur (paralysie faciale, blessure catastrophique etc…). Ces *serious games*, contrairement à leur apparence ludique, se révèlent d'authentiques outils pédagogiques, étudiés pour fixer les connaissances et faciliter le développement de compétences opérationnelles. Des logiciels orientés sur le *Combat Casualty Care*, comme le *Vmedic* de TC3 SIM, développé au profit du *Marine Corps* ou encore le Medrills (53) d'ArchiMD, proposent des scenarii avec des prises en charge de blessés sous le feu. L'objectif consiste à tester et provoquer les prises de décisions adéquates aussi bien tactiques que médicales en choisissant parmi les options multiples proposées. L'application enregistre toutes les réponses et fournit un score final avec un débriefing point par point. Le mécanisme attractif du jeu procure un espace d'apprentissage ou de révision des bases en sauvetage de combat qui garantit l'assimilation des protocoles standards par des actions guidées, limitées et simples. Apprendre de ses erreurs et gravir les différents niveaux du jeu donnent des motivations supplémentaires avec des bonus, des classements et des records. Ces outils interactifs prévus initialement pour les *medics* vont, dans de nouvelles versions, être étendus aux *nurses*. Plus élaboré, le *STAT*(54) s'adresse au *surgeon* qui reçoit au niveau d'un *Role 2* (un EMEDS (55) de l'U.S. Air Force fidèlement reconstitué) un à plusieurs patients qu'il lui faut examiner et conditionner avec toute son équipe avant évacuation. Le logiciel *Clinispace* (56) propose aussi un environnement interactif avec le matériel technique activable d'un clic mais il met surtout en scène un *Dynapatient*, un modèle physiopathologique plus sophistiqué qui réagit aux gestes ou aux médications dispensés par l'opérateur (fig.6). Les membres de l'équipe peuvent communiquer entre eux par des textes apparaissant à l'écran et le patient peut même être doté de parole grâce à la voix d'une vraie personne animant le scenario en direct. Une version « militarisée » *Clinispace BattleCare* est en cours de développement.

Si ce type de logiciel didactique soigne le réalisme des situations et des décors ou la qualité de l'ergonomie et du mode de navigation, c'est surtout au patient que revient le rôle principal. Pour d'autres logiciels comme celui du projet *Virtual Heroes* conduit par des universités américaines en collaboration avec le *Telemedicine and Advanced Technology Research Center* (TATRC) de l'*US Army*, la construction d'environnements dévastés (catastrophe naturelle, attentat, accident technologique) impossibles à répliquer dans la réalité, donne l'opportunité de tester des scenarii de crise avec la gestion d'afflux massif de blessés. Il intègre également le logiciel *3DiTeams* (57) qui revisite la sécurité du patient à travers la performance collective d'équipes soignantes mises à l'épreuve. Le mode multi-joueurs éprouve le *team work*








**Figure 6. Vue d'une chambre d'hospitalisation, d'un tableau de sélection de personnages et d'un poste médical de *Clinispace BattleCare* (*By courtesy of Clinispace*).**

(concept TeamSTEPP (58)) et la communication au sein du groupe dont l'évaluation plus ou moins positive va se répercuter sur l'évolution clinique du patient !

Grâce à l'application *Virtual Médical Center* (VMC) de l'US Air Force (59), un patient réel peut endosser son propre rôle et se rendre en ligne à son centre médical virtuel reconstitué et armé par du personnel avatar. À tous moment, il est en mesure à l'aide de ses codes d'accès, d'obtenir des informations sur son dossier médical personnel, de bénéficier de conseils personnalisés, de renouveler ses ordonnances ou d'assister à des forums d'informations thématiques. Ces modalités de prestations se situent dans le prolongement du concept de *Patient Centered Medical Home* et elles augurent de nouvelles perspectives pour la distribution de services et de produits de santé.

### Le modèle haptique

Ces *task trainer* particuliers sont des outils de navigation explorant et/ou intervenant au niveau des voies naturelles (vasculaires, intestinales, bronchiques ou urinaires) d'un humain virtuel. Ils sont utilisés en mode procédural pour reproduire des manœuvres invasives conduites en scopie (endoscopie, arthroscopie, bronchoscopie) ou observées sur un moniteur (radiologie et cardiologie interventionnelle). Basée sur la théorie des collisions utilisée en *gaming* combinée à des séries d'algorithmes, l'interface réel-virtuel donne la possibilité de ressentir pour chaque action, une résistance ou un retour de force lors des contacts avec les tissus environnants tout en visualisant les déformations correspondantes. Ce type d'immersion vise à ébaucher des repères visuels, à intégrer des procédures et à exercer la coordination entre les yeux et les mains. L'important est aussi de renforcer la dextérité et la confiance en soi de l'opérateur. L'expérience sensorielle apportée est proche des sensations de véritables interventions en endoscopie diagnostique ou opératoire. Le catalogue des outils de simulation de la marque Simbionix couvre la plupart des spécialités chirurgicales (urologie, gastro-entérologie, orthopédie…) dont par exemple, le GI Mentor™ qui simule l'examen endoscopique des différents étages du tractus digestif supérieur avec la possibilité supplémentaire de reproduire des écho-endoscopies. Une autre modalité d'application existe avec l'ANGIO Mentor™ qui propose 17 procédures interventionnelles endovasculaires différentes guidées par imagerie (60). Il dispose, comme tous les autres appareils de la série, d'une banque d'images issues des dossiers cliniques d'une centaine de patients réels. Un programme optionnel, le *Simbionix PROcedure Rehearsal Studio*™ permet de construire des cas sur mesure ou de préparer en simulation, l'intervention endovasculaire d'un patient à partir de ses données angiographiques (61). La plateforme de simulation met en place des repères précis avec la mesure des angles idéaux de progression et détermine le type et la taille du matériel le plus approprié afin de garantir les meilleures chances de succès au geste thérapeutique ultérieur.

## Conclusion et perspectives

Les principes de la simulation et de la modélisation trouvent de nos jours, des applications dans la plupart des sciences et des spécialités. Le système de santé ne déroge pas à la règle intégrant également le patient contemporain investi de nouvelles responsabilités. Le répertoire de la MEDSIM s'est enrichi en conséquence avec des modèles constitués de chairs, de polymères ou de voxels (62), supports d'autant de modalités et de techniques de

simulation différentes. Ces outils fiables et réutilisables permettent d'améliorer la sécurité des patients et la qualité des soins. Pilier central de toute simulation en santé, le patient factice est ainsi destiné à jouer un rôle grandissant tout au long du parcours professionnel du personnel de santé. Pour cela, une copie conforme ne suffit plus car ses conditions d'emploi doivent être rehaussées d'éléments d'ambiance, d'expériences sensorielles et de Réalité virtuelle (RV) pour obtenir une immersion convaincante avec des interprétations de résultats irréfutables. Si le *live tissue training* reste plébiscité par la majorité des apprenants pour son approche gestuelle réaliste, son emploi devrait cesser prochainement pour des considérations autant morales que sanitaires et pécuniaires. Aussi la relève par de futurs modèles nécessitera des collaborations interdisciplinaires accrues et suivra des pistes diverses comme celle de l'androïde, piloté ou autonome, capable de communiquer tout en disposant de fonctions anatomiques et physiologiques élaborées ou encore celle de l'individu substitué par des projections holographiques en 3D pouvant être personnalisées et couplées à des interfaces haptiques et sensorielles (63). La standardisation des procédures d'évaluation, la maîtrise des coûts et la compréhension des mécanismes variables de perception et d'adhésion selon les opérateurs resteront les principaux obstacles à surmonter. La technologie ne suffit pas en soi mais ouvre de multiples perspectives en sachant qu'il n'existe pas d'outil générique unique et idéal en simulation. De plus, l'essentiel se situe au niveau de la pertinence des programmes et de l'efficacité du transfert des connaissances acquises dans le champ virtuel vers celui de la pratique professionnelle. Le développement des applications et des outils de la MEDSIM s'étend vers les domaines de l'aide diagnostique, du support thérapeutique et de l'éclairage pronostique voire prédictif en laissant entrevoir d'importantes marges de progression. Des avancées scientifiques supplémentaires dans la connaissance du facteur humain et du fonctionnement neurocognitif seront indispensables pour dépasser le concept du patient limité à un simple banc d'essai pédagogique ou technique. Des approches de simulation commencent à intégrer les dimensions humaines et culturelles réaffirmant le besoin d'un retour vers les valeurs fondamentales de compassion et de responsabilité constituant l'éthique médicale. À l'avenir, ces avancées vont ouvrir de nouvelles pistes et ne manqueront pas de renforcer la place primordiale du patient au centre des systèmes de soins et de santé.

**L'auteur déclare n'avoir aucun conflit d'intérêt avec les données citées dans l'article.**

## NOTES DE L'AUTEUR

1. Professeur en anesthésiologie à la Stanford School of Medicine : ce pionnier de la simulation moderne en médecine visait l'amélioration de la sécurité du patient par une formation accrue des anesthésistes grâce à l'emploi de mannequin haute fidélité et à l'introduction de concept tel l'Anaesthesic Crisis Ressource Management (ACRM).
2. « Simulation is a technique…to replace or amplify real experiences with guided experiences that evoke or replicate substantial aspects of the real world in a fully interactive manner ».
3. Organisation représentant l'ensemble des services de santé militaires américains au sein du Department of Defense (DoD)
4. http://statics2.pointdevues.com/download/PDF/livre/coudray/DP_Coudray.pdf
5. C'est un outil pédagogique dénommé *task trainer* ou *part- task trainer* en anglais, permettant l'apprentissage de gestes médicaux trop compliqués, dangereux ou onéreux à accomplir dans la réalité.
6. http://www.nsna.org/Portals/0/Skins/NSNA/pdf/Imprint_FebMar08_Feat_MrsChase.pdf
7. C'est une forme intensive d'entraînement permettant de disposer de personnel apte à assurer ses missions et à les exécuter sans hésitation.
8. Gamification : concept de la théorie et des techniques du jeu appliquées à des activités non ludiques.
9. Dans le prolongement du concept de gamification, le jeu vidéo *America's Army* fut le premier en 2002 à proposer une manœuvre tactique en mode multijoueur avec en filigrane une opération de communication, l'acquisition de savoir faire et la diffusion de connaissances dans l'optique de recruter au profit des armées.
10. Deanna H. Gates, Benjamin J Darter, et all. Comparison of walking over ground and in a Computer Assisted Rehabilitation Environment (CAREN) in individuals with and without transtibial amputation. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 2012;9:81.
11. Application of simulation techniques for accident management training in nuclear power plants, IAEA TECDOC 2003, 1352.
12. Preventing medication errors: Quality chasm series, committee on identifying and preventing medication errors, 2006.
13. Nutting PA, Miller W, Crabtree B et al. Initial Lessons From the First National Demonstration Project on Practice Transformation to a Patient-Centered Medical Home. Ann Fam Med, 2009, vol. 7 no.3, 254-60.
14. Concept Map est une représentation visuelle de type cartographique organisant, hiérarchisant et connectant les connaissances d'un individu à propos d'une thématique (Wandersee, 1999).
15. C'est un outil standardisé d'évaluation des compétences cliniques ; http://www.osceskills.com/
16. Sauvetage au combat enseigné aux medics des armées américaines.
17. http://iccvam.niehs.nih.gov/docs/5yrPlan/NICEATM5YR-Final.pdf
18. Ces différentes séquences peuvent être évaluées et reproduites au sein d'un Wide Area Virtual Environment (WAVE), une plateforme d'entraînement en 3D où sont réalisées des simulations hybrides immergeant des équipes médicales au cœur d'un décor panoramique en réalité virtuelle (RV) pour mettre en condition, évacuer puis traiter des patients simulés (ou des mannequins de haute-fidélité).

19. « Research indicates that learners retain 20 % of what they hear, 40 % of what they see, and 75 % of what they see, hear and do. » Effectiveness Study, JD Fletcher.
20. Théorie de l'action pédagogique des « gestes mentaux d'apprentissage » permettant de muer l'expérience sensorielle (des 5 sens) en évocation mentale pour la traduire par restitution en connaissances ou en actions. Cette théorie de la gestion mentale du pédagogue français Antoine de la Garanderie, un précurseur des sciences cognitives va au-delà du simple mécanisme de conditionnement.
21. Exemple du WMD/CBRNE/DECON Full-body Trainer de Simulaids
22. http://www.eworldpoint.com/PageFiles/132/Instructional%20Manuals/BLS%20and%20ALS%20manikins/Basic%20Geri_GER404.pdf
23. http://www.laerdal.com/fr/doc/779/Nursing-Kelly
24. http://www.tommanikin.com/products/manikin
25. http://www.laerdal.com/us/doc/85/SimMan-3G
26. Comme dans le cas d'une perforation de l'aorte abdominale : http://www.simulab.com/product/surgery/open/surgical-abdomen-nicked-aorta-catastrophic-event-team-training-package
27. http://www.gaumard.com/surgical-chloe/
28. http://www.gaumard.com/the-new-noelle-s574-100/
29. http://www.caehealthcare.com/eng/patient-simulators/caesar-simulator
30. http://www.gaumard.com/combat-hal-s3040/
31. http://www.kforcegov.com/Sectors/Healthcare.aspx
32. http://simbionix.com/wp-content/uploads/2011/01/USMentor_Brochure_05_2013-Web.pdf
33. http://mammacare.com/research_bibliography.php
34. http://www.enasco.com/pdfs/Health_Care/manuals/LF00901.pdf
35. http://www.gaumard.com/testicular-exam-simulator-n240/
36. http://www.strategic-operations.com/
37. http://www.aspeducators.org/
38. http://www.simply-sim.com/
39. http://www.paintandpowderstore.com/products.php?cat=243
40. https://www.smooth-on.com/index.php?cPath=1115_1339
41. http://moulagesciences.com/simulated-odor-wound-package.asp
42. http://lunainc.com/technology-development/health-sciences/advanced-blood-simulant/
43. http://www.skedco.com/Public/Documents/FEBSS%20Instruction%20Manual.pdf
44. http://www.strategic-operations.com/products/cut-suit
45. http://www.kforcegov.com/traumafx/MATT.aspx
46. https://www.biodigitalhuman.com/home/
47. http://www.anatomage.com/index.html
48. Pickhardt PJ, Choi JR, Hwang I, Butler JA, et al. Computed tomographic virtual colonoscopy to screen for colorectal neoplasia in asymptomatic adults. N Engl J Med. 2003 Dec 4; 349(23):2191-200.
49. Rizzo A, Kenny P, Parsons TD. Intelligent virtual patients for training clinical skills. Journal of Virtual Reality and Broadcasting, 2011;8:3.
50. http://www.youtube.com/watch?v=TZ7XtPh3ai4
51. http://www.puremedsim.com/home
52. http://www.flukebiomedical.com/Biomedical/usen/Products/Patient-Simulators-Fast.htm
53. http://www.archiemd.com/
54. http://www.afmmast.mil/Sim%20Training/STAT!%20Game.htm
55. Skelton P, et al., EMEDs and SPEARR teams United States Air Force ready responders. Crit Care Nurs Clin N Am 15, 2003:201-12.
56. http://www.clinispace.com/videos.html
57. http://virtualheroes.com/projects/3diteams
58. http://teamstepps.ahrq.gov/
59. http://www.afmmast.mil/Virtual%20Medical%20Center/
60. http://www.simbionix.com/wp-content/uploads/2011/01/ANGIOMentor_11_2012-Web.pdf
61. http://simbionix.com/clinical-rehearsal/
62. Pixel en 3D.
63. En fait, une voie intermédiaire se profile déjà avec le principe de plateformes modulaires, multifonctionnelles et hybrides, actuellement développé par le TATRC.