Université de Paris

École doctorale Frontières de l'Innovation en Recherche et Education - ED474

Mobilisation et entraînement des compétences non-techniques lors de situations médicales critiques : apports des simulateurs numériques en environnements virtuels

Par Daphné Michelet

Thèse de doctorat de Technologies d'application médicale, diagnostiques, thérapies et santé publique

Dirigée par Antoine Tesnière Et par Philippe Cabon

Présentée et soutenue publiquement le 15 octobre 2020

Devant un jury composé de :

Rapporteurs : Dan Benhamou, PU-PH, Université Paris-Saclay

Elie Saliba, PU-PH, Université de Tours

Examinateurs : Anne-Sophie Nyssen, Professeur, Université de Liège

Domitile Lourdeaux, Maîtresse de conférences - HDR, Université de Technologie de Compiègne

Except where otherwise noted, this work is licensed under https://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/fr/

Remerciements

A Monsieur **Dan Benhamou**, qui me fait l'honneur d'être rapporteur de cette thèse. C'est une chance d'avoir pu bénéficier de votre expertise dans le domaine de la simulation pour ce rapport. Merci pour le temps consacré à la relecture de ce travail.

A Monsieur **Elie Saliba**, qui me fait également l'honneur d'être rapporteur de cette thèse. Merci de me faire bénéficier de votre expertise dans le domaine de la formation à la réanimation du nouveau-né et celui de la simulation numérique. Je vous suis reconnaissante pour le temps et l'énergie consacrés à l'analyse de ce manuscrit.

A Madame **Anne-Sophie Nyssen**, qui me fait l'honneur d'être examinatrice de cette thèse. Merci d'avoir accepté de juger ce travail qui bénéficiera de votre expertise dans le domaine du facteur humain et des sciences de l'éducation.

A Madame **Domitile Lourdeaux**, qui me fait également l'honneur d'être examinatrice de cette thèse. Merci pour les discussions très intéressantes que nous avons déjà pu avoir au cours des comités de thèse. Je suis très heureuse de pouvoir partager mon travail avec vous.

A Monsieur **Antoine Tesnière**, qui a encadré ce travail. Merci de m'avoir ouvert les portes d'Ilumens il y a maintenant quatre ans. J'ai eu beaucoup de chance de pouvoir évoluer au sein de cette structure où l'on enseigne et étudie dans un environnement chaleureux et bienveillant. Tu m'as donné la possibilité d'aller au bout de mon projet et je t'en remercie.

A Monsieur **Philippe Cabon**, qui a co-encadré cette thèse. Merci pour tous ces moments d'échanges qui ont permis à cette thèse de garder son caractère multidisciplinaire. J'ai beaucoup appris à tes côtés, une vision différente mais complémentaire qui a transformé la perception mais également la pratique de mon métier et ma façon de transmettre. Merci pour tout le temps que tu m'as consacré tout au long de ce travail mais encore plus pour les relectures finales en temps limité en cette période si particulière.

A **Jessy Barré**, sans toi cette thèse n'aurait pas existé, tu m'as tant apporté pendant ces trois années. Notre collaboration aura été une belle aventure, un bel exemple d'interdisciplinarité. Merci pour tout ce que tu m'as appris, pour ton aide et ton soutien, pour tes idées, tes projets et ta motivation sans faille. J'espère que nous trouverons d'autres occasions de travailler ensemble. D'ici là, bonne continuation avec Mélanie !

A **Sylvain Boet**, merci d'avoir fait partie de mon comité de thèse. Ton expertise et tes conseils avisés ont été une aide précieuse tout au long de l'avancée de ce travail.

A tous ceux d'**Ilumens**, Guillaume Escouboué, Laure Millet, Emeline d'Angelo, Sylviane Frédéric, Valérie le Mouël, Cécile Monteil, Catherine Guimenez, travailler auprès de vous a toujours été un plaisir. Merci également à Anaïs Job et David Drummond. Un remerciement particulier pour **Christelle Vérot** qui nous a ouvert les portes de son école de sages-femmes pour réaliser nos expérimentations, merci d'être toujours si souriante, motivée et partante pour les nouveaux projets ! Tu es un exemple à suivre.

A **Souhayl Dahmani**, car sans toi je n'en serai pas là ! Merci d'avoir cru en moi et de m'avoir encouragée à poursuivre mes ambitions.

A tous mes collègues de **l'hôpital Robert Debré**, IBODE, IADE, IDE, AS, chirurgiens et bien sûr anesthésistes, une belle équipe au sein de laquelle je me suis toujours sentie épanouie. Merci pour votre soutien au cours de mes années de thèse. Vous me manquez ! Un grand merci à celles qui ont également partagé ces années, mes amies : **Alia et Myriam**.

A mes collègues de Reims, **Pr Malinovsky**, merci pour votre accueil et merci de me faire confiance pour poursuivre les projets simulation au CHU de Reims. **A mes collègues de l'AMH**, Hugues, Catherine et Cécile qui m'ont accueilli avec beaucoup de gentillesse. En quelques mois je me sens parfaitement intégrée à l'équipe. Merci à toute l'équipe du bloc opératoire, vous avez été d'un grand soutien au cours de ces derniers mois.

Aux internes, externes, étudiants sages-femmes, étudiants IADE, cette thèse vous est dédiée. C'est avec l'espoir de proposer un jour une formation plus humaine, plus personnalisée, au savoir-être autant qu'au savoir-faire que j'ai débuté ce travail. Merci à tous ceux qui ont participé aux expérimentations. Merci à tous ceux qui m'accompagnent tous les jours dans ma pratique quotidienne au CHU. Merci à **Sarah**, qui m'aura accompagnée pendant cette période de transition de Paris vers Reims. Travailler avec toi est un vrai plaisir et je suis ravie d'être bientôt membre du jury de ta thèse.

Au CRI, mon école doctorale qui m'a ouvert les yeux sur un autre monde. A ceux que j'y ai rencontré et qui resteront mes amis : Jennifer, merci pour tous ces moments partagés, beaucoup de réussite dans tes projets et j'espère qu'on retravaillera ensemble sur de nouveaux projets de recherche en simulation! Marie-Aude, partenaire de thèse, merci pour ton soutien ! Thomas, merci et bon courage pour tes études de médecine.

A **mes parents**, merci d'être toujours là pour moi.

A **mes beaux-parents**, Sophie, François, merci d'être toujours compréhensifs et de me soutenir dans mes projets.

A **ma sœur**, cette thèse m'a permis de mieux comprendre ton univers. Merci à toi, Franck, Hector et Valentin.

A **mes amis, mes beaux-frères, belles-sœurs,** merci d'être là ! Un petit mot pour celles qui m'accompagnent depuis plus de 20 ans : Hélène, Marie, Raphaëlle et Carole. Je suis tellement heureuse de vous savoir à mes côtés !

A **Hugo**, je ne trouve pas les mots… Merci d'être toujours là, de me soutenir, de me pousser, de me supporter et de savoir me redonner confiance. Avec toi j'irai au bout du monde !

A nos enfants, **Basile, Léon,** drôle d'aventure d'avoir une maman à nouveau étudiante. Merci d'être là et de m'aider à relativiser avec vos mots d'enfants. Et **Jeanne,** tu as suivi cette thèse au plus près, dans mon ventre puis baladée de labos en réunions en porte bébé ou en poussette, toujours paisible et apaisante. Merci à tous les 3, vous êtes ma force, mon bonheur !

Résumé

L'intérêt de la simulation pour la pédagogie et la formation des professionnels de santé n'est plus à prouver. La simulation numérique est en plein essor et représente une alternative ou un complément intéressant aux autres techniques de simulation telles que la simulation haute-fidélité, car moins coûteuse, d'utilisation plus facile et autonome, l'apprenant pouvant s'exercer seul et quand il le souhaite. La formation aux situations médicales critiques (situations d'urgence au bloc opératoire ou en obstétrique) comporte des objectifs pédagogiques en termes de compétences techniques mais également non-techniques ou comportementales. L'objectif de ce travail doctoral est d'analyser la possibilité et les modalités d'entraînement des compétences non-techniques à travers deux simulateurs numériques de situations médicales critiques : l'hémorragie du post-partum et la réanimation néonatale.

Pour cela une première expérimentation, menée avec des étudiants sages-femmes sur un simulateur numérique d'hémorragie du post-partum, a évalué d'une part l'autoévaluation des compétences non-techniques des participants au fur et à mesure des scénarii de simulation numérique et d'autre part l'évaluation experte des compétences non-techniques lors d'une simulation haute-fidélité après entraînement en simulation numérique. Différentes modalités, mettant plus ou moins en jeu les compétences non-techniques, ont alors été testées. Une seconde expérimentation a évalué l'impact du débriefing sur l'acquisition et la rétention des connaissances, des compétences techniques et non-techniques d'étudiants sages-femmes. Durant cette formation en simulation numérique le débriefing a été intégré au simulateur numérique de réanimation du nouveau-né, seulement pour une partie des apprenants.

Nos résultats ont montré l'intérêt de la simulation numérique pour la formation aux compétences non-techniques en les intégrant aux objectifs pédagogiques, aux scénarii et au débriefing dans la simulation. La rétention des apprentissages à deux mois semble générer un gain significatif chez les étudiants sages-femmes. Ce travail ouvre des perspectives de recherches futures, visant à mieux définir la place et les modalités des entraînements en simulation numérique au sein des cursus de formations des professionnels de santé pour un résultat optimal en fonction des objectifs.

Mots-clés : simulation numérique, compétences non-techniques, débriefing, rétention des apprentissages.

Abstract

The interest of simulation for the pedagogy and training of health professionals is no longer a debate. Screen-based simulation is growing rapidly and represents an interesting alternative or complement to other simulation techniques such as high-fidelity simulation, because it is less expensive, easier to use and autonomous, the learner being able to practice alone and when he wishes. Training in critical medical situations (emergency situations in the operating room or obstetrics) has educational objectives in terms of technical skills but also non-technical or behavioral skills. The objective of this thesis is to analyze the possibility and the training methods of non-technical skills (NTS) through two screen-based simulations of critical medical situations: postpartum hemorrhage and neonatal resuscitation.

A first experiment, conducted with midwifery students on a postpartum hemorrhage screen-based simulation, evaluated on the one hand the self-evaluation of non-technical skills of the participants and on the other hand the expert assessment of non-technical skills during a high-fidelity simulation after training in screen-based simulation. A second experiment evaluated the impact of debriefing on the acquisition and retention of knowledge, technical and non-technical skills of midwifery students. During this training in digital simulation, debriefing was integrated into the digital resuscitation simulator of the newborn, only for part of the learners.

Our results have shown the interest of screen-based simulation for non-technical skills training by integrating NTS with educational objectives, scenarios and debriefing in the simulation. Retention of learning at two months seems to generate a significant gain among midwifery students. This work opens up prospects for future research, aiming to better define the place and methods of training in screen-based simulation within the training courses of health professionals for an optimal result according to the objectives.

Keywords: screen-based simulation, non-technical skills, debriefing, retention of learning.

Liste des abréviations

ANR : Agence Nationale de la Recherche

ANTS : Anaesthetists' Non Technical Skills

CERIMES : CEntre de Ressources et d'Information sur les Multimédias pour l'Enseignement Supérieur

CNT : Compétences Non-Techniques

CRM : Crisis Ressource Management

CT : Compétences Techniques

EIAS : Evènements Indésirables Associés aux Soins

ENEIS : Enquêtes Nationales sur les Evènements Indésirables graves liés aux Soins

FMC : Formation Médicale Continue

HAS : Haute Autorité de Santé

HF : Haute-Fidélité

HPP : Hémorragie du Post-Partum

NRP : Neonatal Resuscitation Program (programme d'enseignement de la réanimation néonatale de l'American Academy of Pediatrics)

Table des matières

I. Etat de l'art 1
A. La sécurité du patient 1
1. Rôle du facteur humain 1
2. Les modèles de sécurité : modèles systémiques, modèle de Reason, et ingénierie de la résilience. 3
3. Les compétences non-techniques 5
4. Les formations aux compétences non-techniques 15
5. La formation actuelle des médecins en France : place de la simulation, enseignement des compétences non-techniques ? 18
B. La simulation 21
1. Pédagogie et simulation 21
2. Historique de la simulation en santé 26
3. Les outils en simulation en santé 27
4. Organisation et déroulement d'une séance de simulation 32
5. Rationnel pédagogique de la simulation en santé : 33
C. Les environnements virtuels de type simulation numérique en pédagogie médicale. 37
1. Définitions 37
2. L'apprentissage dans la conception des simulateurs 39
3. Rationnel théorique pour l'utilisation de la simulation numérique en pédagogie médicale 44
4. Efficacité de la simulation numérique en pédagogie médicale 49
5. La simulation numérique dans les cursus de formation en santé 50
II. Problématique et hypothèses 51
A. Problématique 51
B. Hypothèses : 53
1. Expérimentation 1 : 53
2. Expérimentation 2 : 53
III. Partie expérimentale 54
A. Expérimentation 1 54
1. Hypothèse 1 (Article 1: Does Repeated Exposure to Critical Situations in a Screen-Based Simulation Improve the Self-Assessment of Non-Technical Skills in Postpartum Hemorrhage Management? Simulation and gaming, 2019.) 54
2. Hypothèse 2 (Article 2: Benefits of Screen-Based Postpartum Hemorrhage Simulation on Nontechnical Skills Training, A Randomized Simulation Study. Simulation in Healthcare, 2019.) 79
B. Expérimentation 2 88

1. Hypothèse 1 (Article 3: Effect of Computer debriefing on acquisition and retention of learning after screen-based simulation of neonatal resuscitation: a randomized study. JMIR, 2020.) 88
2. Hypothèse 2 (Article 4 : Midwifery students' retention of learning after screen-based simulation training on neonatal resuscitation: a pilot study. BMJ STEL, 2019.) 113
IV. Synthèse du travail et perspectives 119
A. Résumé détaillé 119
B. Apports théoriques 121
1. Simulation numérique et compétences non-techniques 122
2. Simulation numérique et débriefing 123
3. Simulation numérique et rétention des apprentissages 124
C. Limites du travail 126
1. Méthodologie 126
2. La notion de « compétences techniques et non-techniques » 127
3. Les outils d'évaluation des compétences non-techniques 128
D. Ouverture : conception de simulateurs numériques, place de la simulation numérique dans les cursus de formation 132
1. Place de la simulation numérique dans les cursus de formation 132
2. Conception des simulateurs numériques 133
3. Stratégie de recherche 133
V. Conclusion 134
VI. Bibliographie 135
VII. Liste des Figures et tableaux 150
VIII. Annexes 151
A. Annexe 1 : SAED (HAS) 151
B. Annexe 2 : Score ANTS (traduction française) 152
C. Annexe 3 : Score BAT (traduction française) 153
D. Annexe 4 : Score DASS 21 (traduction française) 154
E. Annexe 5 : Score Flow (traduction française) 155
F. Annexe 6 : Score NASA-TLX (traduction française) 156

I. Etat de l'art

L'objectif de cette thèse est d'approfondir les connaissances sur la place des environnements virtuels et plus précisément des simulateurs numériques dans la formation médicale. Nous cherchons à préciser leur impact sur les connaissances et les compétences techniques (savoir-faire) mais surtout non-techniques (savoir-être). Nous étudions également les caractéristiques intrinsèques de ces simulateurs propices à l'acquisition et à l'entretien de ces compétences et connaissances.

Notre état de l'art s'articule autour de la sécurité du patient, du rôle du facteur humain et de l'importance de l'enseignement des compétences non-techniques. Puis nous revenons sur le concept de la simulation pour l'enseignement avant de se concentrer sur la pédagogie à travers les simulateurs numériques.

A. La sécurité du patient

1. Rôle du facteur humain

La sécurité des patients et la prévention des risques liés aux soins thérapeutiques ne sont pas des thématiques nouvelles pour la médecine. Les médecins tiennent depuis longtemps compte des risques iatrogènes comme en témoigne déjà le serment d'Hippocrate. Cependant, depuis une vingtaine d'années, la médiatisation des évènements indésirables liés aux soins et le coût économique qu'ils engendrent ont placé ces préoccupations au cœur des politiques de santé publique des pays occidentaux. Désormais, la sécurité des patients est un enjeu majeur des systèmes de santé et un défi à relever par la communauté de professionnels et de chercheurs dans le domaine des soins, comme dans celui de la prévention des risques (1). Dès les années 1990, une série de rapports officiels a révélé l'importante quantité d'événements indésirables dans les établissements de santé. Les recommandations apportées par ces différentes études ont introduit la nécessité de développer des démarches de prévention pluridisciplinaires, systémiques et organisationnelles, impliquant notamment des spécialistes des facteurs humains et de l'ergonomie. Le plus connu de ces rapports est celui de l' « Institut of Medicine » intitulé « To err is human : building a safer healthcare system» (2). Ce document estime qu'aux USA entre 44 000 et 98 000 patients meurent annuellement dans les hôpitaux à la suite

d’évènements indésirables, définis comme des événements inattendus qui perturbent ou retardent le processus de soin, ou impactent directement le patient dans sa santé (HAS). Des études similaires réalisées dans d’autres pays (Australie, Canada, etc…) ont confirmé ces impressionnantes estimations (3). En France, deux Enquêtes Nationales sur les Evènements Indésirables graves liés aux Soins (ENEIS (4)) ont été réalisées en 2004 et 2009. En 2004, les séjours hospitaliers causés par des évènements indésirables graves se situaient dans une fourchette de 175 000 à 250 000 par an, dont entre 70 000 et 110 000 auraient pu être évités. Ainsi 3 à 5 % des patients dans les hôpitaux français seraient hospitalisés suite à l’occurrence d’évènements iatrogéniques. La validité scientifique de ces statistiques est discutable (entre autres : interconnexion des différents risques, non-homogénéité des définitions, biais dans les protocoles de recueil, critères d’inclusion). Cependant les résultats de ces études sont très similaires dans les différents pays occidentaux et ils suscitent des préoccupations, bien au-delà de la sphère médicale (3,5). Relayés par les médias, ils ont été à l’origine d’une forte mobilisation des professionnels de santé, des chercheurs en sécurité mais aussi de l’opinion publique. Depuis une quinzaine d’années, le nombre de publications, d’ouvrages, de congrès et d’associations (de professionnels, mais aussi de patients) spécifiquement dédiés à ce sujet n’a cessé de croître. De nombreux efforts ont été observés au niveau des politiques de santé : accréditations, certifications, créations d’organismes publics indépendants, informations des patients, protocoles de vigilance, management par la qualité, évaluations des pratiques professionnelles (6). Les systèmes de santé tentent donc de s’approprier les démarches de prévention développées précédemment dans les industries à risques et appliquent les approches traditionnelles de la sécurité.

Nous venons de voir que l'impact du facteur humain a de lourdes conséquences sur la sécurité du patient. Ce dernier doit cependant être intégré et analysé dans un contexte plus large lorsqu’il s'agit de systèmes complexes.

2. Les modèles de sécurité : modèles systémiques, modèle de Reason, et ingénierie de la résilience.

a) Modèles systémiques

Les travaux consacrés à la gestion du risque ont montré que les accidents survenus dans les milieux industriels complexes (par exemple les catastrophes de Fukushima ou de Bhopal) ne résultent jamais des seules erreurs humaines, mais de l'imbrication en chaîne de nombreuses causes ou facteurs favorisants. Ces causes, appelées systémiques ou latentes, sont plus difficilement identifiables que les erreurs humaines qui apparaissent comme les causes évidentes et immédiates des accidents. Elles ne créent pas directement d'accidents mais sont délétères de façon synergique lorsque surviennent une ou des erreurs humaines, qu'elles peuvent faciliter et dont elles décuplent les conséquences. Ces causes ne se révèlent que lors d'enquêtes approfondies, point essentiel de la démarche de gestion des risques. On comprend ainsi que la mauvaise organisation du travail, l'ambition excessive du rendement, un personnel trop peu formé ou en nombre insuffisant, des coordinations mal pensées, une gouvernance locale instable et peu présente, sont la source principale des catastrophes observées, bien avant les questions de manque de compétences de chaque acteur impliqué.

b) Modèle de Reason

James Reason a créé le modèle dit du « fromage suisse » (7,8) pour expliquer comment les défaillances qui surviennent aux différents niveaux d'un système peuvent conduire à des événements indésirables associés aux soins (EIAS) et des erreurs médicales (Figure 1). Ce modèle montre dans quelle mesure une défaillance à un niveau du système ne suffit généralement pas à causer à elle seule un accident. Les événements indésirables sont en général le fruit de plusieurs défaillances qui se produisent à plusieurs niveaux (par exemple, des professionnels fatigués + des procédures inappropriées + un équipement défectueux) et s'alignent momentanément, permettant la création d'une « trajectoire accidentelle ». Cette approche internationale, moins focalisée exclusivement sur le « facteur humain », ouvre ainsi la perspective de pouvoir apprendre et agir sur les erreurs qui surviennent. Pour cela l'utilisation systématique d'une analyse « systémique » à l'aide d'une grille de questionnement (de type ALARM, par exemple (9)) permet aux équipes de ne pas s'arrêter à une analyse superficielle, centrée sur la cause immédiate, mais d'investiguer les causes profondes qui ont contribué à la survenue de l'EIAS.

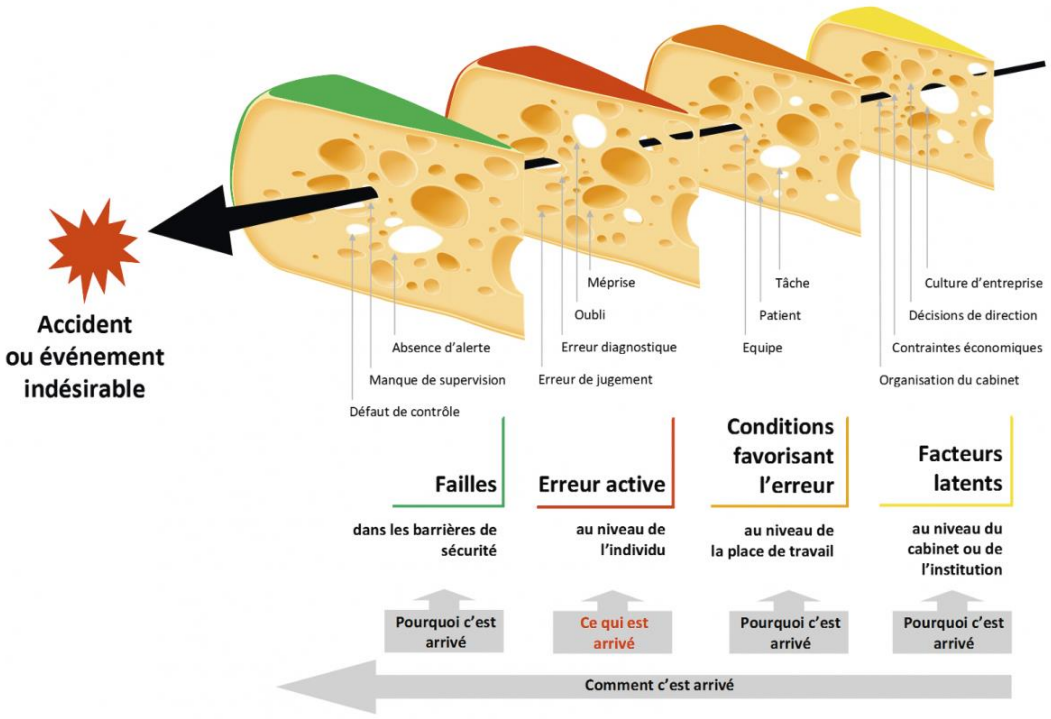


Figure 1: Modèle de fromage Suisse selon J. Reason (7,8) adapté dans Swiss Medical Forum 2018;18(13–14):297–303.

c) Ingénierie de la résilience

Une approche plus récente encore consiste à voir l'erreur humaine comme inévitable. L'opérateur gère en permanence un compromis entre le risque interne qu'il accepte de prendre, le risque objectif lié au niveau de performance qu'il vise, et les conséquences de ces risques pour son intégrité physique et morale (fatigue, stress, épuisement). L'erreur ne peut et ne doit pas être totalement supprimée car elle fait partie des mécanismes de régulation de ce compromis. Comme l'opérateur n'est pas inconscient, il assume ce compromis en se protégeant, en détectant ses erreurs, en réduisant si nécessaire ses aspirations ; on parle de sécurité écologique (10). L'objectif d'une suppression totale a donc été remis en cause et ce, d'autant plus que certains travaux qui étudient la composante humaine dans sa dimension cognitive, mettent en avant l'utilité cognitive des erreurs (11). D'autres travaux ont montré que les erreurs sont traitées par les opérateurs et ce, afin d'en limiter le nombre ou d'en contrôler les effets négatifs (12). Au final, tous ces travaux montrent que du point de vue de la sécurité des systèmes, il est plus important de porter attention à la gestion des erreurs qu'à leur production. Les chercheurs en facteurs humains ont alors abandonné l'idée de supprimer l'erreur, cherchant plutôt à créer des conditions résilientes à l'erreur à travers l'approche d'ingénierie de la résilience (13,14).

3. Les compétences non-techniques

a) Délimitation et définition des compétences non-techniques

Dans la littérature anglophone, on trouve différents termes qui se rapportent aux compétences non-techniques (CNT) (15): « non-technical skills », « Human factors », « Generic skills », « Key competences », « Core skills », « Essential skills », « CRM », « Soft skills ». Les multiples définitions qui existent sont parfois redondantes ou présentées par opposition aux « compétences techniques », sans que ces dernières ne soient précisément définies. Parmi les définitions les plus citées, on peut retenir celle de Rhonda Flin, pour qui les compétences non-techniques correspondent à « une combinaison de savoirs cognitifs, sociaux, et de ressources personnelles complémentaires des savoir-faire procéduraux qui contribuent à une performance efficiente et sûre » (16). Basée sur les travaux réalisés précédemment dans d'autres domaines tels que l'aviation, l'identification des compétences spécifiques à une profession est la première étape de la conception d'outils de formation ou d'évaluation des compétences non-techniques. Il existe une variété d'outils diagnostics, qui peuvent être utilisés de manière combinée : l'analyse discursive (entretien, questionnaires), l'observation ou encore des techniques d'analyse d'événements indésirables. Les données sont ensuite utilisées pour développer une taxonomie qui comprend des catégories de compétences et éléments ou comportements pertinents qui décrivent ces compétences. Quelles que soient la ou les techniques utilisées, des analyses minutieuses sont nécessaires afin d'identifier les compétences non-techniques clés.

Les techniques d'analyse cognitive des tâches (analyse des étapes cognitives nécessaires au traitement des informations : de la détection de l'information à la planification de l'exécution d'une action, en passant par son évaluation) sont utilisées pour identifier les compétences cognitives qui conditionnent la performance. Ces techniques sont particulièrement pertinentes pour les tâches dynamiques qui exigent une grande complexité cognitive. Sur la base des données recueillies à partir de ces techniques, la taxonomie des compétences non-techniques peut être développée, validée et évaluée, pour ensuite être utilisée afin de guider un programme de formation aux compétences non-techniques. C'est la méthodologie qui a été utilisée par Flin, O'Connor et Crichton dans leur ouvrage « Safety at the sharp end » (16) proposant une taxonomie des sept classes CNT pour le milieu médical (Tableau 1).

Tableau 1 : Principales catégories et éléments des compétences non-techniques, d'après Flin, O'Connor, & Crichton (16)

Classe de compétences	Eléments / Composants
Conscience de la situation	Recueillir l'information Interpréter l'information Anticiper les états futurs
Prise de décision	Définir le problème Considérer les options Sélectionner et implanter les options Passer en revue les résultats
Communication	Donner l'information de façon claire et concise Inclure le contexte et l'intention Recevoir l'information, écouter Identifier et prendre en compte les barrières à la bonne communication
Travail en équipe	Soutenir les autres Résoudre les conflits Echanger l'information Coordonner l'action
Leadership	Utiliser l'autorité Maintenir les standards Planifier et établir les priorités Gérer la charge et les ressources
Gestion du stress	Identifier les symptômes du stress Reconnaitre les effets du stress Mettre en place les stratégies pour faire face
Gestion de la fatigue	Identifier les symptômes de la fatigue Reconnaitre les effets de la fatigue Mettre en place les stratégies pour faire face

Les CNT peuvent se caractériser selon trois dimensions : interpersonnelle (communication, leadership), cognitive (conscience de la situation, prise de décision) et personnelle (gestion du stress et de la fatigue). Plus récemment, Flin et Maran (17) ont différencié les caractéristiques et compétences individuelles des compétences de l'équipe, en considérant que chacune d'entre elles avait un impact sur la performance individuelle et collective (en termes de qualité et de sécurité) et sur la satisfaction au travail de chacun (Figure 2).

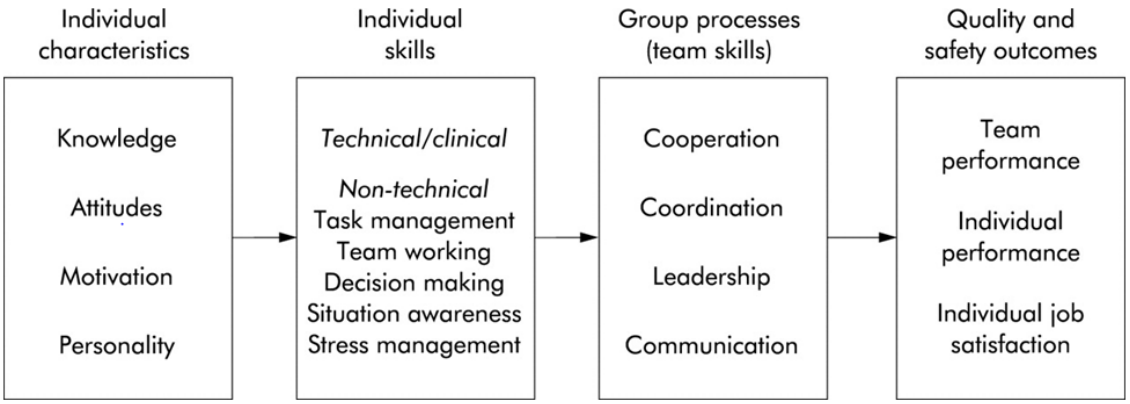


Figure 2: Facteurs individuels influençant les performances en équipe (18)

b) Objectivation des compétences non-techniques

Les travaux de Flin et de ses collaborateurs ont montré qu'il était possible d'identifier certaines CNT via une analyse de tâches cognitives (19). Par exemple, des simulations de situations médicales ont été proposées à des praticiens afin d'évaluer les compétences non-techniques de ces derniers par des experts observateurs de la simulation. Certaines combinaisons d'actions étaient ainsi considérées par les évaluateurs comme marqueurs de bonne ou mauvaise application d'une CNT donnée. Différents outils psychométriques, développés en général pour une catégorie professionnelle, basés sur des grilles d'évaluation, permettent d'attribuer un score objectif global au praticien. Leur utilisation a été étudiée dans la littérature, par analyse de l'utilisabilité, de la fiabilité, de la reproductibilité ou encore de la facilité d'utilisation des différents outils. Les plus connues sont les échelles suivantes : l'échelle Paramedic Global Rating (20), l'Ottawa Global Rating Score (21), l'échelle Anaesthetists' Non-Technical Skills (ANTS) (19,22), l'échelle Non-Technical Skills for

Surgeons (NOTSS) (23), l'échelle Scrub Practitioners' List of Intra-operative Non-Technical Skills (SPLINTS) (24). Des échelles spécifiques existent également pour évaluer le travail d'équipe : l'échelle Team Emergency Assessment Measure (TEAM) (25), l'échelle Observational Skill-based Clinical Assessment tool for Resuscitation (OSCAR), l'échelle Oxford Non-Technical Skills (NOTECHS) (26).

c) Définition et caractérisations des différentes compétences non-techniques

Dans la partie suivante, les différentes compétences non-techniques sur la base de la liste proposée par Flin et ses collaborateurs sont décrites et détaillées.

(1) La conscience de la situation

Une compétence non-technique importante est la capacité à obtenir et maintenir une conscience de la situation efficace et adaptée tout au long de l'activité. La référence la plus citée dans la littérature est probablement la modélisation du processus proposée par Endsley (27). Cette dernière définit la conscience de la situation comme « la perception des éléments de l'environnement, circonscrits dans un volume d'espace et de temps ; la compréhension de leur signification et la projection de leur statut dans un futur proche » (traduction libre).

Ce modèle trouve son origine dans les champs théoriques de l'Humain vus comme un système de traitement de l'information et définit la conscience de la situation comme un « produit » distinct de son « processus » de fabrication. Il s'agit d'un modèle mental de la situation dont la construction s'appuierait sur un processus mettant en relation trois phases :

- la perception des éléments de l'environnement,
- la compréhension de leurs caractéristiques, de leurs pertinences par rapport à l'objectif,
- la projection de leur évolution au cours d'un temps pertinent pour la tâche en cours.

Durant la première phase de perception, la personne récupère des informations et des éléments dans l'environnement alentour. Elle pourra alors effectuer à la fois une surveillance de l'état de l'environnement, et un contrôle de la tâche dans laquelle elle est engagée.

La compréhension est la seconde phase de traitement des informations récupérées perceptivement, pour donner du sens à la situation et pour comprendre ce qu'il se passe dans l'environnement.

La phase de projection est la « simulation mentale de l'état et du comportement futur du système nécessaire à l'élimination de tout développement surprenant ». Elle permet de faciliter la perception en favorisant l'état de vigilance et la bonne allocation spatio-temporelle de l'attention.

Exemple : Pour prendre l'exemple de l'hémorragie du post-partum (HPP), une bonne conscience de la situation consiste à consulter régulièrement la quantité de pertes sanguines dans le sac de recueil permettant une évaluation objective de la gravité de la situation. La sous-estimation de ces pertes peut retarder la prise en charge et conduire à un stade où la situation sera plus difficilement contrôlable.

(2) Prendre une décision répondant aux besoins de la situation

Ce processus serait primordial dans les activités à hauts risques. Par exemple 47 % des accidents aéronautiques entre 1983 et 1987 impliquaient de mauvais jugements et prises de décisions de la part de l'équipage (National Transportation Safety Board, 1991). Flin et al. s'inspirent largement du modèle « Naturalistic Decision Making » de Klein (28) et définissent la compétence de prise de décision comme « un processus consistant à arrêter un jugement ou à choisir une solution d'action, de manière à répondre aux besoins d'une situation ». La prise de décision comprendrait 4 composantes principales (Figure 3):

- L'évaluation de la situation, la définition précise du problème, ou du but poursuivi ;
- la génération et la considération des différentes options acceptables de réponse à ce problème, ou à la réalisation de ce but ;
- la sélection et l'implémentation comportementale de la réponse choisie ;
- l'évaluation du résultat.

Un processus de rétro-évaluation, c'est-à-dire de réévaluation de la situation en fonction des actions implémentées et de leurs effets, vient fermer le mécanisme qui prend alors une forme de boucle.

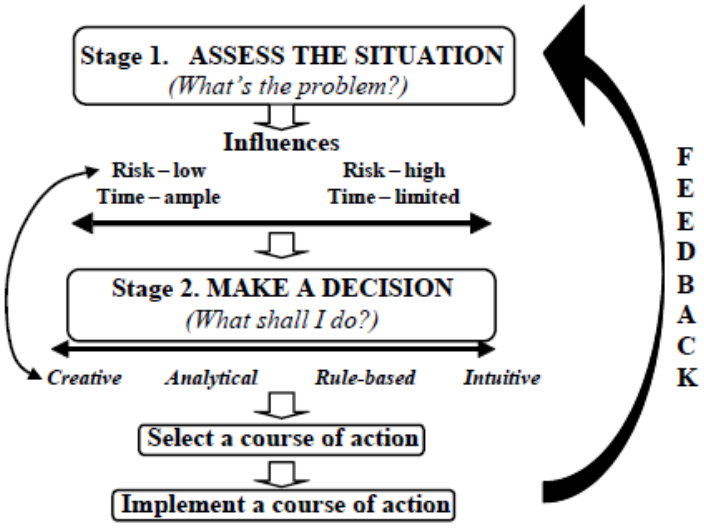


Figure 3 : Modèle simplifié de prise de décision basé sur le Naturalistic Decision Making (28)

Ces quatre composantes s'articulent selon 2 phases. La première phase est celle de l'évaluation de la situation. C'est un processus par lequel une situation est évaluée et sondée de manière à lui donner un sens. Selon Flin *et al.*, cette première phase posséderait des liens forts avec les processus de conscience de la situation. Ainsi, lorsque le processus « conscience de la situation » détecterait un changement significatif dans l'environnement qui pourrait représenter une menace ou un intérêt pour la réalisation d'un but, le processus d'évaluation de la situation au sens « prise de décision » se mettrait en place et une investigation appuyée de l'élément émergeant débuterait. Un effort mental plus important et plus conscient serait alors dirigé spécifiquement vers l'identification et la compréhension de la situation, nouvelle ou changeante. Selon Flin *et al.*, les processus sous-tendant ces mécanismes seraient communs. Si cette première étape de la prise de décision n'est pas correctement effectuée, il est probable que l'action qui en résulte ne soit pas adaptée à la situation. La seconde phase vise à sélectionner la solution la plus adaptée parmi plusieurs suites d'actions possibles en réponse aux exigences de la situation, la réponse sélectionnée est alors implémentée au niveau comportemental, et son effet est évalué de manière à mettre à jour le modèle de la situation issu de l'évaluation en première phase.

Selon Klein (28), il existerait 4 principaux types de prise de décision :

- Le premier serait **intuitif** et amorcé par reconnaissance. L'évaluation de la situation mènerait à sa reconnaissance, à sa catégorisation basée sur des expériences passées,

similaires ou quasi-similaires. La réponse comportementale typique associée à cette situation, serait alors récupérée en mémoire et évaluée. Si elle est évaluée comme fonctionnelle et acceptable, alors elle sera implémentée.

- Le second type de prise de décision serait **basé sur les règles**. Il implique plus d'effort conscient que le précédent. Il est le plus utilisé par les novices. Il consiste, pour l'individu, après évaluation de la situation, à rechercher dans un manuel ou en mémoire, la solution adaptée à la résolution du problème.
- Le troisième type de prise de décision concerne le cas où l'individu se place face à un problème pour lequel il a à sa disposition **plusieurs options de résolution**. Il va donc devoir effectuer une comparaison simultanée de ces options, de manière à retenir celle qui paraît la plus adaptée. Dans l'idéal, cela passe par l'identification des caractéristiques pertinentes de chaque schéma d'actions, au regard du problème à résoudre. C'est une méthode coûteuse en ressources cognitives et en temps, elle est donc difficile à mettre en place et fortement susceptible d'être sujette à des biais de décision. En effet, par souci d'économie, l'individu va souvent utiliser des raccourcis voir des heuristiques pour choisir celle qui lui semble la meilleure solution. Par exemple, il choisira le schéma d'action qu'il connaît le mieux, même s'il est potentiellement moins efficace qu'un autre qui lui est moins familier.
- Enfin, le quatrième type de prise de décision fait appel à la **créativité** de l'individu. Dans ce cas, la situation est tellement nouvelle qu'elle requiert une solution originale. Cette méthode, bien qu'à la base de l'innovation, n'est pas recommandée dans des situations où la pression est forte, excepté lorsqu'il n'y a pas d'alternatives.

Exemple : Pour prendre l'exemple de l'HPP, une bonne prise de décision consiste à introduire précocement un traitement par sulprostone lorsque l'hémorragie est d'emblée majeure. Un retard à l'introduction de ce traitement peut rendre le saignement incontrôlable sans prise en charge plus invasive.

(3) Communiquer de manière appropriée et efficace

Une communication efficiente est indispensable au travail en équipe et à la sécurité. La communication est définie par Flin comme « l'échange d'informations, des commentaires ou des réponses, des idées et des sentiments ». Elle permet aux opérateurs d'obtenir des informations, d'amorcer des relations interpersonnelles, d'établir des modèles de

comportement prévisibles, de maintenir l'attention sur la tâche réalisée et de la contrôler ; c'est un outil de gestion (29). Une représentation partagée d'une situation, par exemple au bloc opératoire, est primordiale. Elle est construite par la communication, les informations échangées permettent d'identifier et de gérer les situations de crise mais également de les éviter (30). Quatre éléments permettent une bonne communication :

- un vocabulaire spécifique à l'équipe ;
- des rapports réguliers sur la situation ;
- la diminution des communications superflues ;
- la qualité de la communication (claire, concise et compréhensible).

L'HAS a proposé une aide cognitive pour faciliter la communication entre professionnels. L'outil de communication « Situation, Antécédents, Evaluation, Demande » (SAED, Annexe 1) est l'adaptation française de l'outil anglo-saxon « Situation, Background, Assessment, Recommendation » (SBAR). C'est un outil mnémotechnique qui permet à un professionnel de santé de structurer sa communication orale auprès d'un autre professionnel (31). L'objectif principal de cette standardisation est de prévenir les événements indésirables pouvant résulter d'erreurs de compréhension lors d'une communication entre professionnels, mais également de faciliter la mise en œuvre d'une communication documentée claire et concise, et d'éviter les oublis.

Exemple : Dans l'exemple de l'HPP, une bonne communication entre les équipes anesthésiques et obstétricales permet d'adapter les traitements médicamenteux aux procédures obstétricales afin de contrôler simultanément le saignement de façon « mécanique » et « biologique ». L'absence de synchronisation entre les professionnels peut entraîner l'échec des méthodes respectives.

(4) Travailler en équipe, leadership, followership

Dans le domaine médical, comme dans de nombreuses industries à risques (aviation, nucléaire, armée), les tâches demandent très souvent une coopération entre différents groupes de professionnels. Le travail d'équipe consiste à poursuivre des buts communs et à rechercher des solutions afin d'améliorer la prise en charge du patient en collaborant avec d'autres acteurs pour assurer des soins appropriés, sûrs et coordonnés. Le travail d'équipe est défini comme « l'ensemble de connaissances, d'habilités et d'attitudes qui permettent de collaborer

avec d'autres personnes dans la réalisation d'activités menant à atteindre des objectifs communs, en échangeant des informations, en distribuant des tâches, en assumant des responsabilités, en résolvant les difficultés qui se présentent et en contribuant à améliorer le développement collectif » (32).

Salas a par ailleurs identifié 5 caractéristiques qui favorisent la performance du travail d'équipe (33,34) :

- Le leadership, défini comme « favorisant la performance de coordination et d'adaptation de l'équipe en facilitant la définition et l'atteinte des objectifs » ;
- La capacité à s'adapter à un environnement dynamique en mobilisant les ressources nécessaires ;
- La surveillance mutuelle des performances qui est essentielle pour anticiper les évolutions des situations ;
- Le soutien aux autres membres. Cette composante fonctionne avec la surveillance mutuelle de la performance puisqu'elle permet un ajustement de la charge de travail et une correction des erreurs ;
- La propension au travail d'équipe, c'est-à-dire que les membres ont une tendance naturelle à préférer travailler en équipe plutôt que de manière individuelle.

L'ensemble de ces composantes du travail d'équipe fonctionne grâce à 3 mécanismes de coordination : la capacité à partager sa représentation mentale de la situation, une communication à « boucle fermée » et une confiance mutuelle (Figure 4). Partager sa représentation mentale de la situation permet de faciliter la coordination des actions de l'équipe. Les différents membres de l'équipe peuvent ainsi comprendre et interpréter les informations et adapter leurs actions. La communication à « boucle fermée » permet d'améliorer la compréhension des informations échangées et améliore la représentation commune de la situation. Elle est réalisée en 3 étapes : émission du message par l'émetteur, réception du message par le récepteur avec confirmation de la réception, retour sur le contenu du message pour s'assurer de la compréhension. La confiance mutuelle garantie la performance individuelle dans la réalisation de la tâche.

Exemple : En reprenant l'exemple de l'HPP, un leader de la prise en charge globale est indispensable, il sera « chef d'orchestre » et « maître du temps ». L'absence de leader peut conduire à une prise en charge désorganisée sans notions des délais qui sont connus pour être primordiaux dans la gestion d'une hémorragie du post-partum.

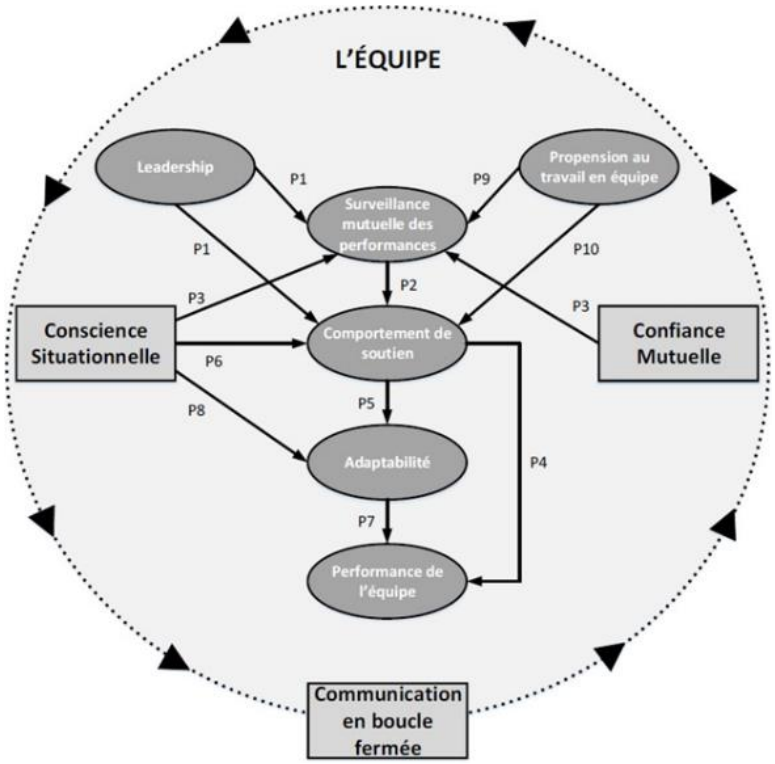


Figure 4: Représentation des liens entre les caractéristiques du travail en équipe et les mécanismes de coordination (Salas et al., 2005(35)). Dans ce modèle, les éléments P1 à P10 représentent les mécanismes qui influencent les différents éléments. La communication a un rôle majeur puisqu'elle rend ces liens possibles. La communication et le travail d'équipe sont interdépendants.

(5) Gérer le stress et la fatigue

En complément des approches préventives indispensables visant à anticiper le stress et la fatigue (par exemple l'organisation des horaires de travail ou des pauses), leur gestion constitue une compétence particulièrement importante dans le domaine médical. Les professionnels de santé sont exposés à des perturbations de leur rythme veille-sommeil et à des niveaux de stress élevés (notamment dans la gestion des émotions face à la maladie ou à la pression temporelle). De nombreux travaux ont démontré un lien clair entre la fatigue du personnel médical et la survenue d'événements indésirables (36). Sur le plan des compétences, les opérateurs doivent être capables de détecter leurs signes de fatigue ou de stress de manière à mettre en place des stratégies efficaces pour maintenir leur niveau de performance.

Exemple : Lors d'une HPP, chaque professionnel doit être à l'écoute du reste de l'équipe, savoir détecter le stress ou la fatigue d'un collègue et pouvoir proposer un soutien ou pouvoir appeler à l'aide.

4. Les formations aux compétences non-techniques

Depuis les années 60, les évolutions technologiques dans le domaine de l'aéronautique ont permis de diminuer les risques d'accidents jusqu'à atteindre un seuil quasi-incompressible ($0{,}16x10^{-6}$/vol stable depuis le début des années 2000 (35)) et l'analyse des accidents a mis en évidence la nécessité de travailler sur le rôle des facteurs humains pour maintenir ce haut niveau de sécurité. En effet, depuis les années 70, des défauts au niveau du comportement des équipages ou de leurs compétences dites non-techniques sont régulièrement avancés comme causes principales d'accidents aériens. La catastrophe aérienne de Tenerife survenue en 1977 qui reste à ce jour l'accident le plus meurtrier de l'aviation commerciale a constitué l'événement favorisant une forte prise de conscience de l'industrie aéronautique. Deux avions de ligne (Boeing 747) entrent en collision entraînant le décès de 583 personnes. L'enquête a démontré que la collision n'était pas due à des problèmes techniques ou à des compétences techniques des acteurs mais plutôt à un ensemble de paramètres : un défaut au niveau de la communication au sein de l'équipage (le copilote avait informé le commandant de bord que l'autre avion avait débuté son décollage, mais ce dernier a décidé malgré tout de traverser la piste) dans un contexte de pression du temps et avec une mauvaise visibilité liée au brouillard.

Entre 1989 et 1992, 88 % des accidents aériens majeurs associés à des erreurs humaines ont eu pour cause principale un défaut au niveau de la conscience de la situation (37). L'incident de la Northwest Airlines survenu en 1995 illustre un défaut de conscience de la situation : un contrôleur aérien a modifié le plan de vol d'un avion initialement à destination de Francfort en le dirigeant vers l'aéroport de Bruxelles. Les pilotes ne se sont rendu compte de la modification qu'au moment de l'approche de la piste d'atterrissage, alors que plusieurs passagers avaient réalisé la mésaventure en regardant la carte de vol.

Dans le milieu médical, chaque année, environ 10 000 personnes décèdent à l'hôpital en France des suites d'erreurs médicales (Enquêtes ENEIS). Une partie de ces erreurs médicales est étroitement liée à un défaut au niveau des compétences non-techniques. Les situations de travail qui existent au sein du milieu médical et notamment hospitalier sont extrêmement étendues et vastes. En effet, la diversité des professionnels qui exercent à l'hôpital est

importante, tout comme peuvent l'être les outils utilisés et le contexte de chaque situation. Aussi, contrairement à d'autres milieux professionnels, chacun des cas étudiés/des patients reçus, est différent l'un de l'autre ; une solution apportée à un cas ne pourra pas obligatoirement être recevable pour un autre cas pourtant similaire. Le travail d'équipe apparaît comme primordial dans un milieu professionnel tel que la médecine. En effet, Schaefer a montré en 1994 que 70 à 80% des erreurs étaient engendrées par une mauvaise communication et une mauvaise compréhension collective (38). Dès lors, un travail en équipe efficace peut aider à réduire les problèmes d'insécurité pour le patient.

Il existe donc une forte corrélation entre les compétences non-techniques et les erreurs humaines. En effet, des compétences non-techniques insuffisantes pourraient augmenter la probabilité de survenue d'événements indésirables. La bonne connaissance de ces compétences non-techniques permet d'éviter les erreurs, ou plus précisément de les détecter, de les récupérer, et donc de réduire la survenue d'événements indésirables ou d'accidents (11,12). Dès lors, il parait important de proposer des formations spécifiques aux compétences non-techniques.

Les compétences non-techniques ont longtemps été négligées dans l'enseignement, aux dépens notamment des savoirs procéduraux, techniques et théoriques. L'objectif aujourd'hui est de rééquilibrer la balance au sein de l'enseignement en insistant davantage sur les compétences non-techniques (41). La formation en équipe s'est révélée déterminante pour l'amélioration des compétences non-techniques et divers programmes ont alors été conçus depuis le début des années 1990 à l'image du Crew/Crisis Resource Management (CRM). Ces derniers incluent notamment des cours didactiques, des exercices de groupe, des simulations de situations cliniques et enfin un débriefing. La simulation apparaît comme un élément clé de la formation aux compétences non-techniques. En effet, si les séminaires permettent également une amélioration de ces compétences, la formation sur simulateur reste plus efficace (42). Cependant, la simulation aura plus d'effet si elle est incluse dans un programme de formation plus large.

a) Dans le milieu de l'aviation «Crew Resource Management»

Suite à de nombreux incidents et accidents aéronautiques, une conférence s'est déroulée en 1979 à la NASA où psychologues et professionnels de l'aéronautique se sont réunis afin de

discuter de l'identification de ces « compétences », désormais dites non-techniques et de la mise en place d'un programme de formation pour les améliorer. C'est ainsi que le « Cockpit Resource Management », depuis renommé en « Crew Resource Management » (CRM) a été fondé afin d'améliorer les compétences non-techniques liées principalement au travail d'équipe et à la communication entre les divers membres d'un équipage. Les formations CRM ont notamment été définies par la Federal Aviation Administration comme « l'utilisation de toutes les ressources humaines disponibles, les informations et les équipements en vue d'un vol sécurisé et efficace de tous points de vue ». Ainsi, les formations CRM ont pour objectif d'aider les membres d'un équipage à identifier les risques et à améliorer la qualité de la communication entre les différents acteurs (pilotes et personnels navigants commerciaux). Si l'objectif initial des formations CRM visait principalement une amélioration de la communication entre les deux pilotes d'un cockpit, le programme a, petit à petit, été élargi à un plus grand nombre de compétences non-techniques. Aussi, dès leur création, notamment sous l'influence de la compagnie United Airlines, les formations CRM ont été pensées comme devant être suivies régulièrement tout au long de la carrière des équipages et non une unique fois lors de leur formation initiale. Depuis les années 1990, les formations CRM ne se limitent plus seulement aux cours théoriques illustrés par des vidéos, des simulateurs de plus en plus fidèles à l'environnement aéronautique sont désormais utilisés. Ces méthodes ont notamment permis de rendre les formations plus interactives et donc d'intéresser davantage les personnels qui les suivaient (43). Ces formations ont été progressivement élargies au personnel au sol et aux contrôleurs aériens sous la forme de Team Resource Management (TRM)

b) Dans le milieu médical : « Crisis Resource Management »

Si aujourd'hui les compétences non-techniques sont reconnues comme essentielles pour améliorer la sécurité des soins, elles ne sont pas pour autant suffisamment abordées dans les formations. Alors que dans le domaine de l'aviation, les formations CRM sont une obligation réglementaire annuelle pour les pilotes, aucune formation n'est imposée aux professionnels de santé. Or, d'après certaines études les compétences nécessaires en chirurgie sont à 75 % non-techniques et à 25 % techniques, il est donc possible de penser que l'amélioration des CNT pourrait permettre une nette amélioration des résultats en chirurgie (44). A partir des années 1990, le milieu médical s'est intéressé de plus prêt à ces formations propres aux compétences non-techniques et ces dernières ont connu un essor au début des années 2000 suite au rapport « To Err is Human ». Cependant, comme le rappellent Flin et Maran (16), l'intérêt n'était pas

de simplement dupliquer les CRM dispensés dans le domaine aéronautique en remplaçant par exemple les termes « pilotes » par « infirmier » ou « anesthésiste » mais de créer une formation spécifique à la médecine. On parle alors de « Crisis Resource Management », en référence aux situations médicales urgentes, inattendues ou imprévisibles nécessitant une prise en charge d'équipe optimale. Il apparaît alors primordial de lister et de décrire les compétences non-techniques propres à l'activité. En effet, les compétences non-techniques attendues pour un pilote ne seront pas obligatoirement les mêmes que celles d'un anesthésiste, et ceci est également vrai pour des médecins de différentes spécialités : les éléments de travail d'équipe seront différents, la conscience de la situation n'aura pas toujours la même importance.

Là encore, l'approche privilégiée est un croisement entre formations théoriques en salle de classe et sessions de simulation. Les progrès en matière de simulation ont permis de développer des simulateurs de patients humains de très haute-fidélité et donc des situations proches de la réalité et pour lesquelles diverses caractéristiques du comportement sont reproductibles.

De nombreux acteurs encouragent l'utilisation de la simulation au sein de ces formations CRM. Tout d'abord, grâce à la simulation, les professionnels de la santé auront la possibilité de participer activement à la formation. Aussi, la simulation permet de les accompagner dans une prise de conscience de leurs lacunes personnelles et dans une réflexion sur les causes de leurs erreurs. Enfin, ils ont la possibilité de recommencer les expériences en modifiant leur comportement et d'observer les conséquences de ces changements.

5. La formation actuelle des médecins en France : place de la simulation, enseignement des compétences non-techniques ?

La formation actuelle des étudiants en médecine se déroule en 3 cycles après une voie d'accès en cours d'évolution. En effet la PACES (première année commune aux études de santé), qui représentait quasiment l'unique voie d'accès aux études de santé disparaît à la rentrée universitaire 2020. De nouvelles voies d'accès seront mises en place pour diversifier les profils des étudiants sélectionnés : une licence avec option « accès santé » ou un parcours spécifique « accès santé », avec une option d'une autre discipline.

Le 1er cycle, qui comprend la première année plus générale et les 2e et 3e années de médecine, vise à apporter les connaissances scientifiques nécessaires à l'exercice d'une profession médicale et à étudier l'homme sain et l'homme malade. Au programme : sémiologie (étude des signes cliniques et des symptômes des maladies), physiologie, anatomie, microbiologie, etc. Les premières notions de pathologie, de pharmacologie ou de bactériologie apparaissent. S'y ajoutent des enseignements optionnels : philosophie des sciences, anglais médical, histoire de la médecine ou informatique médical. La pratique commence avec un stage infirmier de 4 semaines à temps plein. Puis, sur les 2 ans, 12 semaines au minimum de stage à l'hôpital sont prévues. Ils ont lieu dans des services généraux ou spécialisés, par exemple en dermatologie, en réanimation, en cardiologie, etc. En fin de 3e année, les étudiants obtiennent le DFGSM (diplôme de formation générale en sciences médicales), reconnu au niveau licence.

Le deuxième cycle (4e, 5e et 6e années ou externat) permet d'acquérir une formation médicale complète. Les enseignements s'articulent autour des pathologies, de leurs thérapeutiques et de leurs préventions. Au programme : gériatrie, appareil locomoteur, neurologie, cancérologie, pédiatrie, etc. Le plus souvent, les enseignements sont organisés par modules thématiques, en général en lien avec les stages. La pratique clinique occupe de plus en plus de temps. Les externes sont à la fois étudiants et salariés de l'hôpital, et touchent une rémunération variable selon l'avancée du cursus. Certains stages sont obligatoires (par exemple médecine d'urgence, chirurgie à l'hôpital, etc.), d'autres libres. Au total, 25 gardes sont à effectuer au minimum sur les 3 ans et ont lieu principalement aux urgences. En fin de 6e année, les étudiants en médecine passent les ECNi (épreuves nationales classantes informatisées), pendant 2 jours. Celles-ci déterminent la spécialité et la ville où l'étudiant effectuera son internat, selon sa place au classement. À la fin de la 6e année, les étudiants obtiennent le DFASM (diplôme de formation approfondie en sciences médicales), reconnu au niveau master.

Le 3e cycle correspond à l'internat. Il dure 3 ans pour devenir médecin généraliste et de 4 à 5 ans pour les autres spécialités. Au total, il existe 44 spécialités : 13 d'entre elles sont dédiées à la discipline chirurgicale (chirurgie vasculaire, gynécologie-obstétrique, etc.) ; 30 autres relèvent de la discipline médicale (anesthésie-réanimation, psychiatrie, pneumologie, radiologie et imagerie médicale, etc.) ; la biologie médicale est l'unique spécialité de la discipline biologique. Selon les spécialités, le nombre de places ouvertes chaque année varie fortement : chirurgie pédiatrique (22 places en 2019-2020), gériatrie (192 places), médecine générale (3 215 places), etc. L'internat de médecine est organisé en trois phases : socle, approfondissement, consolidation. Les internes effectuent des stages semestriels, tout en

conservant quelques enseignements théoriques. Membres de l'équipe médicale, ils acquièrent une autonomie qui va croissante avec l'expérience mais ils restent toujours sous la responsabilité des praticiens qui les forment. Par ailleurs, ils préparent une thèse d'exercice. Après avoir validé stages, enseignements et mémoire, les internes obtiennent le DE de docteur en médecine, assorti du DES (diplôme d'études spécialisées) de la discipline suivie.

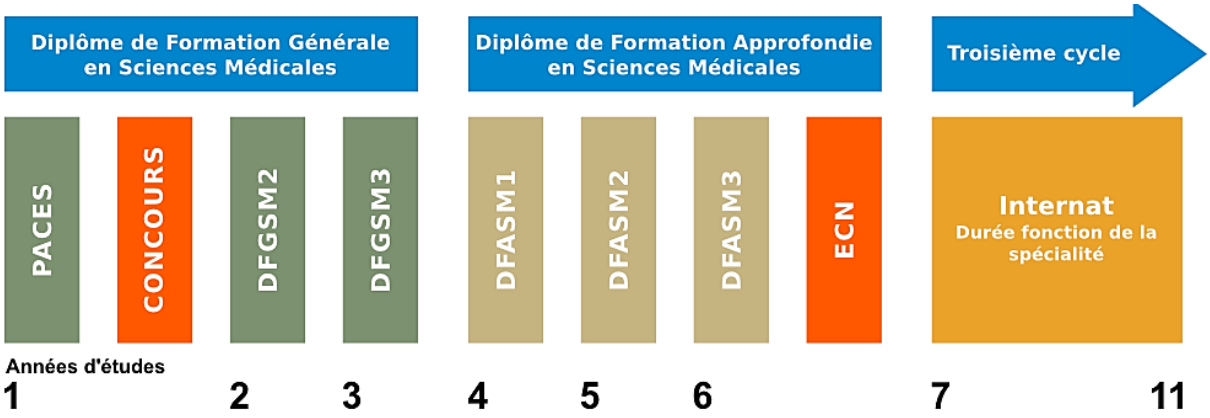


Figure 5 : Schéma du cursus médical

Par la suite, tout médecin devra justifier d'une formation médicale continue (FMC), évaluée tous les 5 ans par les conseils régionaux de la FMC. Le médecin doit cumuler 250 crédits sur 5 ans à travers différentes pratiques : des formations agrées présentielles ou à distance, des situations professionnelles formatrices ou à travers l'évaluation des pratiques professionnelles (EPP).

La pédagogie médicale dans son ensemble se doit cependant de s'adapter aux mutations actuelles en termes d'évolution technologique, de renouvellement des connaissances, de mutations des métiers et des organisations. Ceci nécessite de repenser les systèmes de formation pour les professionnels de santé pour les rendre plus à même de traverser les défis d'aujourd'hui et de s'adapter aux défis de demain. Un premier rapport de la Haute Autorité de Santé (HAS) en 2012 (45) place la simulation en santé au cœur de la formation des professionnels de santé à toutes les étapes de leur cursus. Un rapport récent dans le cadre du projet gouvernemental « Ma santé 2022 » intitulé « Adapter les formations aux enjeux du système de santé » propose un ensemble de mesures qui seront les clés de l'adaptation de la formation telles que la vision intégrée, l'homogénéité, l'approche connectée ou encore la flexibilité des formations. Là encore la simulation occupe une place prépondérante pour la formation à tous niveaux mais aussi pour l'évaluation des pratiques. L'objectif étant

l'entraînement aux gestes mais également aux approches relationnelles à l'interdisciplinarité ou encore aux situations complexes.

Il existe donc à l'heure actuelle un cadre pédagogique favorable à l'enseignement par la simulation mais aucun cadre ni aucune législation ne rendent obligatoire la formation aux CNT au cours du cursus de formation des professionnels de santé.

B. La simulation

1. Pédagogie et simulation

a) Théorie et modèles d'apprentissage

La pédagogie s'appuie sur les théories de l'apprentissage qui ont évolué au cours des siècles. Dans cette partie, nous allons en revoir les grands concepts.

(1) Le behaviorisme, cognitivisme et constructivisme

L'approche behavioriste (ou comportementaliste) perçoit l'apprentissage comme un changement de comportement que l'on doit pouvoir prouver et mesurer. L'apprenant sélectionne la réponse la plus adaptée à un stimulus externe dans un répertoire de conduites disponibles. Cet apprentissage par conditionnement (répondant selon Pavlov, opérant selon Skinner) permet d'observer le produit finalisé, la réponse comportementale attendue sans tenir compte des processus de construction de la réponse. Le behaviorisme est ainsi à la base de tout ce qui implique une récompense, la ludification, les thérapies cognitivo-comportementales, les apprentissages gestuels ou encore l'adaptative learning. Cette dernière approche, récente, est une méthode éducative qui utilise l'informatique (IA, Big Data), comme outil d'enseignement qui s'adapte à chaque apprenant.

A la fin des années 50 apparaît la psychologie cognitive. Pour les cognitivistes, un individu ne se résume pas à l'algorithme « stimulus-réponse-renforcement » qui permet seulement d'accéder à l'imitation ou aux comportements simples. Les cognitivistes voient le cerveau comme un ordinateur : il acquiert les informations, il les traite, il les mémorise. Nous pouvons considérer que la pédagogie du cours magistral est cognitiviste.

Les années 70 voient la naissance du constructivisme. Le cerveau n'est pas seulement un ordinateur qui traite les informations venant d'en haut. L'apprenant n'est pas un vase vide qui

se remplit. La connaissance n'est pas une information. L'apprenant est le seul à pouvoir transformer l'information en connaissance : la connaissance résulte alors d'une interprétation de l'information par l'apprenant. Et comme seul l'apprenant apprend, le rôle de l'enseignant doit changer, et l'apprentissage ne doit plus être centré sur l'enseignant mais sur l'apprenant. Le rôle de l'enseignant est de guider l'apprenant. A l'université les TP, TD ou la simulation peuvent être considérés comme constructivistes.

De nombreuses situations prouvent que l'apprentissage est également contexte-dépendant. La cognition et l'apprentissage dépendent du contexte et de la culture dans laquelle elles s'exercent. C'est la base de la théorie du socioconstructivisme.

(2) Les 4 piliers de l'apprentissage selon Stanislas Dehaene

Pour le professeur Stanislas Dehaene, neuroscientifique français, les sciences cognitives ont permis d'identifier « quatre facteurs principaux de réussite d'un apprentissage : l'attention, l'engagement actif, le retour d'information ou feed-back, et la consolidation » (46). Les différents outils disponibles en simulation garantissent la mise en jeu de ces quatre facteurs, offrant ainsi un rationnel théorique scientifique fort.

(a) L'attention

Stanislas Dehaene insiste sur l'importance de l'attention dans tout processus d'apprentissage. Il cite le psychologue américain Michael Posner (47) pour nous rappeler que notre cerveau a trois grands systèmes attentionnels complémentaires. L'alerte, qui indique quand faire attention et adapte notre niveau de vigilance ; l'orientation de l'attention, qui signale à quoi faire attention et amplifie tout objet d'intérêt et le contrôle exécutif, qui décide comment traiter l'information.

Le pédagogue doit jouer avec l'attention de ses apprenants. Par la mise en activité, il développe les capacités d'alerte. Par l'apport de messages clairs et adaptés aux profils de ses apprenants, il facilite l'orientation, en les amenant à s'orienter vers l'essentiel. Par l'environnement d'apprentissage qu'il crée il favorise ou pas un bon contrôle exécutif. En donnant le temps nécessaire aux travaux, en évitant le multitâche, en simplifiant les connaissances à acquérir ou en donnant des méthodes pour les intégrer, il évite la surcharge de la mémoire de travail et rend plus efficace le contrôle exécutif.

(b) L'engagement actif

A l'inverse d'un enseignement théorique classique où l'apprenant écoute de manière passive un expert (apprentissage passif (21)), au cours d'une séance de simulation, l'apprenant est acteur de son apprentissage. Quel que soit l'outil de simulation choisi, l'apprenant est actif contrairement à un cours magistral au cours duquel il peut choisir d'écouter ou non. Pour acquérir des connaissances et améliorer des comportements, l'apprentissage actif serait supérieur à l'apprentissage passif (48).

(c) Le retour d'information (feed-back)

Le cerveau humain semble générer des prédictions puis, selon les résultats de ces prédictions, ajuster les prédictions suivantes (49), c'est la théorie du « cerveau Bayésien ». La formation permet de réduire la différence entre le résultat prédit et le résultat réel.

Dans cette optique, une séance de simulation va permettre :

- L'apprentissage expérientiel qui permet de tester la prédiction avant la pratique réelle auprès du patient.
- Le feed-back qui conduit à l'apprentissage en permettant d'évaluer le différentiel entre le résultat prédit et le résultat réel. Lors du débriefing intégré à toute simulation, il est possible d'identifier et de formaliser les différences entre la prédiction et le réel afin de les contrôler pour la pratique future. Le feed-back sera plus efficace s'il est objectif et centré sur les compétences et non sur l'individu (50).

La simulation va ainsi permettre de tester la prédiction et d'obtenir un retour en rapport avec les objectifs prédéfinis lors du débriefing.

(d) La consolidation

La consolidation des apprentissages s'appuie sur la répétition (51,52). Un apprentissage initial met en jeu une charge cognitive importante. La répétition de l'apprentissage permettra la mise en place d'automatismes inconscients, suite à l'activation de circuits neuronaux plus rapides (53). Certains travaux fondamentaux ont illustré ce phénomène en neuro-imagerie. Ainsi, lors de l'apprentissage d'une compétence technique, les régions préfrontales sont impliquées initialement avant de concerner dans un second temps les cortex prémoteur, pariétal postérieur et cérébelleux (54).

La rétention est un marqueur régulièrement utilisé pour évaluer la qualité de l'apprentissage. La littérature illustre la grande variabilité de la durée de la rétention selon le type de compétences enseignées et la population d'apprenants. Dans une étude en simulation haute-fidélité portant sur la technique de cricothyroïdotomie par des anesthésistes déjà diplômés (55), la rétention peut aller jusqu'à un an après la formation. Ceci pourrait être lié au caractère complexe de la tâche enseignée et à l'expertise élevée des apprenants. Cependant, pour une population de novices formés à des compétences techniques nouvelles, la rétention peut être beaucoup plus courte (56). Le format de l'enseignement, les apprenants et le type de compétence enseignée ont donc un impact sur la durée de la rétention.

b) Utilisation de la simulation dans d'autres domaines comme l'aviation ?

L'utilisation de la simulation a initialement été développée dans les domaines de l'aéronautique, de la marine, de l'industrie nucléaire ou de l'armée. L'aviation est en particulier considérée comme le domaine pionnier de l'utilisation de la simulation qui a imposé l'enseignement sur simulateur pour la formation des pilotes mais également pour leur requalification, initialement dans le but essentiel de réduire les lourds bilans humains et financiers (57). Dans l'aviation, la simulation sert essentiellement à entraîner des compétences techniques, de manière isolée du contexte dans lequel elles s'expriment. Dans le domaine de la formation, le terme de simulation renvoie plus particulièrement à toute situation pédagogique où des apprenants doivent tenir un rôle et agir en conséquence, dans le cadre d'un scénario extrait généralement du monde réel. Le terme de simulation renvoie à deux mécanismes fondamentaux (58):

- L'imitation : le fait d'agir ou de se comporter comme agirait et se comporterait le modèle que l'on se donne ; dans l'apprentissage d'un métier ou d'une compétence professionnelle, le modèle est le plus souvent l'expert.
- L'art de "faire comme si" le fait d'accepter que la situation simulée ne soit pas la situation réelle, l'objectif n'étant pas tant d'y croire que de s'en saisir et l'exploiter comme un soutien à l'apprentissage.

Dès le début de l'utilisation de la simulation en formation, des outils et des éléments variés de l'environnement, voire des objets réels, ont été utilisés comme une aide pour mettre les apprenants en situation et comme un soutien au déroulement de la simulation. Aujourd'hui, la

simulation se fonde aussi – et de façon extensive - sur l'usage de simulateurs, c'est-à-dire de dispositifs électroniques et informatiques particuliers visant à reproduire certains aspects de l'environnement ou de la situation de travail tels qu'ils se présentent dans le monde réel.

c) Evolution des simulateurs

Les simulateurs ont constitué historiquement les premières applications des technologies informatiques, qui ont ensuite donné naissance aux environnements virtuels d'apprentissage. L'une des principales valeurs ajoutées commune aux simulateurs et aux environnements virtuels pour l'apprentissage réside dans la possibilité de changer les contextes de pratique pour l'apprentissage et d'engendrer des événements comme des perturbations externes, des dysfonctionnements ou des pannes. Les variables de situation sont alors contrôlées par les instructeurs, ce qui leur confère à ce titre une bien plus grande flexibilité que les situations réelles. Au-delà de la reproduction plus ou moins réaliste d'aspects de l'environnement réel, le recours aux simulateurs permet aussi de proposer des représentations modifiées de l'environnement, par exemple sous la forme "d'augmentation" des représentations et des moyens d'action offerts à l'apprenant. Ce dernier axe nous paraît constituer une des lignes importantes de développement de ces deux technologies. Les premières générations de simulateurs n'étaient pas véritablement dotées de fonctionnalités pédagogiques, l'apprentissage étant assimilé à une mise en situation, dans l'environnement de travail. L'expérience issue de l'interaction avec un environnement simulé n'est pas suffisante en termes d'apprentissage, puisqu'une étape supplémentaire de prise de conscience est généralement nécessaire pour aboutir à des formes conceptualisées des compétences acquises à travers l'expérience du simulateur (59). La formation sur simulateur a développé assez rapidement la pratique de séances préparatoires et de séances de débriefing pour encadrer le moment du passage sur simulateur. Le débriefing est ainsi devenu l'un des aspects clef de l'activité d'apprentissage en simulation, étant même considéré par certains auteurs comme la phase la plus importante de la formation par la simulation (60–62). Il s'agit en effet de la phase et du moyen privilégié pour permettre à l'élève de construire du lien entre l'expérience de l'événement en simulation et le sens donné à cette expérience.

d) Intérêt de la simulation en formation

L'utilisation de la simulation pour la formation est déjà ancienne, de sorte qu'il existe une documentation conséquente concernant ses avantages (63) :

- Mettre en situation quand le terrain réel ne le permet pas, soit parce qu'il n'est pas accessible (espace...), trop coûteux (pilotage...), trop dangereux (situations extrêmes, réacteur nucléaire, enjeux vitaux... soit parce qu'il n'existe pas encore (prototype de véhicule...) ;
- Simuler des scénarios et des conditions rares (incidents techniques, situations limites, accidents...), afin de permettre aux apprenants d'acquérir une certaine expérience et de développer des compétences en cas de survenue de ce type d'incidents ;
- Contrôler précisément certains paramètres de la situation, les faire varier, voire les modifier à volonté (terrains, conditions climatiques, introduction de dysfonctionnements...).
- Répéter la même situation à gérer seul ou surtout en équipe, à des fins d'observation, d'entraînement ou d'évaluation.
- Simplifier et segmenter les apprentissages ;
- Permettre l'erreur et pouvoir en observer les conséquences ;
- Intervenir à tout moment afin d'exploiter didactiquement le contexte et le comportement de l'apprenant en figeant les états et la dynamique d'une situation à un moment donné pour poser des questions ou recevoir une explication avant de reprendre le cours de la session.

2. Historique de la simulation en santé

Dans le domaine médical, la simulation a d'abord été organique, les premiers simulateurs utilisés pour l'apprentissage étaient des cadavres d'animaux ou d'humains. En 1778, Madame Du Coudray, sage-femme de profession, a créé la « Machine » qui permettait d'enseigner "l'art des accouchements". Ce simulateur est un mannequin reproduisant la partie inférieure du corps d'une femme et une poupée de la taille d'un nouveau-né. Pendant 25 ans, elle parcourt la France et forme plus de 5000 femmes aux pratiques de l'accouchement. La mortalité infantile aurait alors nettement diminué.

Plus récemment, au milieu des années 1970, c'est un mannequin en bois, Madame Chases, qui est utilisé par les élèves infirmiers du Hartford Hospital Training School of Nurses. Puis, dans

les années 1960, c'est un fabricant de jouet norvégien, Asmund Laerdal qui développe le mannequin Resusci-Anne. En parallèle, apparaît le premier mannequin piloté par ordinateur, le Sim One. En 1986, le Dr Gaba, dans le cadre de ses recherches sur les facteurs humains et la gestion des crises en anesthésie, développe le Comprehensive Anesthesia Simulation Environment (CASE). Il va être perfectionné pour devenir le « Eagle Patient Simulator » en 1995. Un modèle adapté à la médecine d'urgence, le SimMan, est proposé en 2000 par Laerdal.

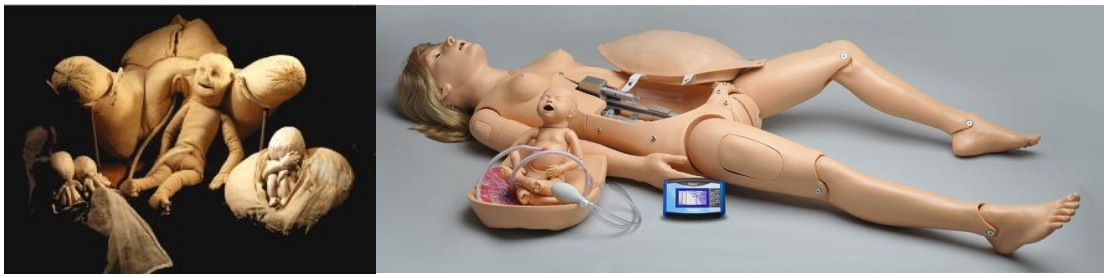


Figure 6 : à gauche le simulateur d'Angélique du Coudray (1750; conservé au Musée Flaubert et d'Histoire de la médecine à Rouen, France) ; à droite Noelle® S551 simulateur d'accouchement corps entier Gaumard.

3. Les outils en simulation en santé

Dans le domaine de la pédagogie en santé, la simulation est devenue incontournable pour l'apprentissage de compétences techniques allant de l'examen clinique simple à des situations cliniques plus critiques. La règle d'or, objectif éthique prioritaire, retenue par l'HAS est : « Jamais la première fois chez le patient ». Les domaines d'application de la simulation sont très vastes : acquisition de gestes techniques simples tels que l'auscultation cardio-pulmonaire, réalisation de gestes chirurgicaux plus complexes tels que la cœlioscopie, mise en situation face au patient ou à sa famille pour l'annonce de diagnostics ou encore acquisition de compétences non-techniques plus fines telles que la communication et le leadership. Pour répondre à ces différents objectifs ou acquérir ces compétences, divers outils existent.

a) La simulation animale

L'expérimentation animale reste utilisée dans de nombreux cursus en sciences de la santé. Elle permet par exemple l'apprentissage de gestes chirurgicaux simples (sutures) ou plus complexes (cœlioscopie).

b) La simulation sur cadavre

L'utilisation de cadavre permet aussi un apprentissage réaliste de gestes techniques avec visualisation anatomique, pour la chirurgie ou l'anesthésie-réanimation (anesthésies locorégionales, voies veineuses centrales).

c) Le « Patient standardisé »

Le « patient standardisé » peut être un vrai patient « volontaire » ou un acteur professionnel. Le scénario est établi avant la séance de simulation avec un rôle à jouer. Ces simulations permettent l'entraînement pour l'acquisition de compétences non-techniques telles que la communication avec le patient, sa famille ou encore entre soignants. Cette technique est particulièrement développée et intéressante pour la formation des étudiants à l'interrogatoire en psychiatrie ou encore à l'annonce d'un diagnostic ou d'une mauvaise nouvelle notamment dans les services de réanimation.

d) Jeu de rôles

Le jeu de rôles est un outil pédagogique permettant de perfectionner les compétences non-techniques, les habiletés relationnelles. Cette méthode permet de simuler une situation imprévisible dans un environnement contrôlé, permettant d'analyser les comportements en observant les réactions des individus. L'apprentissage se fait essentiellement grâce au retour d'information ou débriefing qui suit la session de simulation.

e) Simulateurs procéduraux

Les mannequins de tâches, appelés aussi simulateurs procéduraux, permettent l'apprentissage de gestes techniques sans risque pour le patient. Très variés, ils permettent actuellement l'apprentissage et l'entraînement à la plupart des gestes techniques existant, ce qui permet de ne plus faire un geste pour la première fois sur un patient. Les simulateurs procéduraux sont, par exemple, des bras de perfusion, des dos pour la ponction lombaire, des têtes pour apprendre l'intubation, un arbre bronchique ou un tube digestif pour l'endoscopie, des simulateurs de chirurgie cœlioscopie, de procédures endovasculaires (neuroradiologie ou coronarographie) ou encore d'échographie.



Figure 7 : Simulateurs procéduraux. A gauche: dos pour ponction lombaire, à droite simulateur d'échographie pour ponction vasculaire.

f) Simulateurs patients (haute ou basse fidélité)

Les simulateurs patients sont des mannequins de taille réelle. Ils sont réalistes et peuvent représenter un patient adulte, pédiatrique (prématuré, nouveau-né, nourrisson, enfant) ou même une femme enceinte. Ces mannequins reproduisent de nombreuses fonctions physiques telles que la parole, la respiration, la circulation (bruits du cœur et pouls), l'émission de fluides grâce à des circuits d'air comprimé (sang, crachats, larmes). Ils sont pilotés à distance par un logiciel informatique et permettent la réalisation de cas cliniques dont le scénario peut être prédéfini ou conduit « au fil de l'eau ». L'enseignant peut faire varier l'état clinique du mannequin et les paramètres vitaux qui s'affichent sur le scope. L'environnement dans lequel sont utilisés ces mannequins est adaptable pour reproduire au mieux le contexte clinique du scénario (salle de bloc opératoire ou de déchoquage, salle de naissance, etc…). Les simulateurs patients permettent de s'entraîner pour acquérir ou perfectionner des compétences techniques en environnement complexe. Les mannequins peuvent collecter certaines données, telles que la profondeur et le rythme des compressions thoraciques lors de la réanimation d'un arrêt cardiaque, permettant ensuite un retour précis aux apprenants. Ces simulateurs permettent également de reproduire des prises en charge multidisciplinaire et de travailler les compétences d'équipe.

Lors de notre première expérimentation, pour l'évaluation finale des deux groupes, nous avons utilisé le mannequin d'accouchement Noelle® qui présentait une hémorragie du post-partum dans un environnement de salle de naissance.



Figure 8: Photo prise lors de l'expérimentation numéro 1, mannequin Noelle®, Ilumens, Paris.

g) Simulation hybride

La simulation hybride permet d'associer plusieurs techniques dans l'objectif d'augmenter le réalisme de la situation. Par exemple, la combinaison d'un patient standardisé et d'une partie de mannequin (ventre de femme enceinte pour l'urgence obstétricale ou membre amputé pour un scénario de polytraumatisme).



Figure 9 : Simulation hybride d'une hémorragie du post-partum en salle de naissance in-situ, actrice et bassin d'accouchement, Hôpital Robert Debré, Paris.

h) Les simulateurs numériques

Les simulateurs numériques font l'objet d'un chapitre à part (I. C.)

i) Réalité virtuelle

L'utilisation de la réalité virtuelle dans le domaine des sciences de la santé évolue rapidement, même si elle reste encore marginale. Elle permet une immersion complète par rapport aux simulateurs numériques ce qui permet d'appréhender des situations complexes et de s'entraîner à prendre des décisions cliniques pour un patient virtuel.

Nous avons travaillé en parallèle de ce travail doctoral sur un projet visant à évaluer l'intérêt de la réalité virtuelle pour l'entraînement des internes en chirurgie à la réalisation d'une sleeve gastrectomie en cœlioscopie mono-trocart. L'entraînement par réalité virtuelle permettrait une diminution de charge de travail mental et physique des novices (64).



Figure 10 : Photo de l'expérimentation réalité virtuelle et chirurgie cœlioscopique, Institut Mutualiste Montsouris, Paris.

A chacune de ces modalités de simulation correspondent des coûts et des spécificités organisationnelles. Plus le simulateur est sophistiqué, plus le coût du matériel sera élevé, et plus les ressources humaines nécessaires seront importantes (temps des formateurs, des techniciens, entretien du matériel). De nombreux centres de simulation existent, au sein desquels peuvent se pratiquer différents types de simulation. La simulation « in-situ » est la simulation qui se déroule dans l'environnement de travail habituel, nécessitant de mobiliser un mannequin et l'équipement nécessaire à la mise en place du scénario. Cette méthode présente l'avantage de pouvoir solliciter le personnel sans gêner le bon fonctionnement du service hospitalier, directement sur le lieu de travail. Ce type d'enseignement sur site permet de tenir compte des problématiques locales et de mettre en évidence d'éventuels dysfonctionnements. Cela augmente l'adhésion également des soignants (65–67). Une étude comparant simulation en centre et simulation in-situ a révélé que la formation in situ offrait

plus de réalisme et d'authenticité qu'une formation dans un centre de simulation, sans pour autant avoir d'impact sur les apprentissages (68).

4. Organisation et déroulement d'une séance de simulation

Le déroulement d'une séance de simulation est structuré de façon à répondre aux objectifs pédagogiques. Celle-ci débute par un briefing qui doit être préparé par le formateur afin de présenter à l'apprenant l'outil ainsi que les objectifs pédagogiques. Ce moment permet de se familiariser avec le matériel et l'environnement, mais également de présenter le contexte du cas clinique comme par exemple certains éléments d'anamnèse ou du dossier médical disponibles avant de prendre en charge un patient. La simulation peut avoir une durée variable selon l'outil choisi, variant de quelques minutes à une demi-heure. Le débriefing fait suite à la simulation et permet d'en faire une synthèse et une analyse. Certains auteurs estiment que le débriefing est le moment le plus important d'une séance de simulation en termes d'impact pédagogique. La revue systématique de Cheng *et al.* confirme l'importance du débriefing (69). On observe toujours un bénéfice au débriefing par rapport à l'absence de débriefing pour l'acquisition de connaissances, de compétences, mais aussi pour la satisfaction des participants. Ce moment permet de discuter à la fois les aspects techniques de la séance, mais également les aspects non-techniques et les facteurs humains. L'attitude du formateur et la méthodologie sont fondamentales pour assurer le bon déroulement du débriefing. Une attitude empathique et un débriefing basé sur la réflexion montrent une plus grande efficacité que le débriefing basé sur la critique des performances (70). Parfois, le support vidéo permet d'aider en fournissant l'image objective de la réalité, des comportements et des échanges. La comparaison du débriefing avec ou sans support vidéo ne met pas en évidence d'avantage pour l'acquisition de compétences et connaissances. Cet élément est donc aussi à adapter au type de scénario et aux objectifs pédagogiques (71). En effet, dans le cadre de protocoles de recherche en simulation et notamment d'études comparatives, randomisées, l'enregistrement vidéo permet de garantir un contrôle des biais d'évaluation et de sélection grâce à une analyse différée en aveugle (72).

5. Rationnel pédagogique de la simulation en santé :

a) Modèle de Kirkpatrick

Les étudiants en sciences de la santé apprennent leur métier avec des enseignements théoriques et des mises en situations réelles lors de stages à l'hôpital. La simulation offre un nouvel outil d'apprentissage et de perfectionnement pour tous les professionnels, en formation initiale mais aussi continue. Cependant toute formation doit être évaluée afin de contrôler la qualité et le respect du contrat pédagogique (38). L'évaluation, indispensable dans tout processus d'enseignement, repose sur le modèle de Kirkpatrick, méthode d'évaluation la plus utilisée en pédagogie par la simulation en proposant une évaluation en quatre niveaux : réaction, apprentissages, comportements, résultats (figure 11, (73)). Ce modèle offre aussi un cadre d'évaluation pour la recherche en simulation.

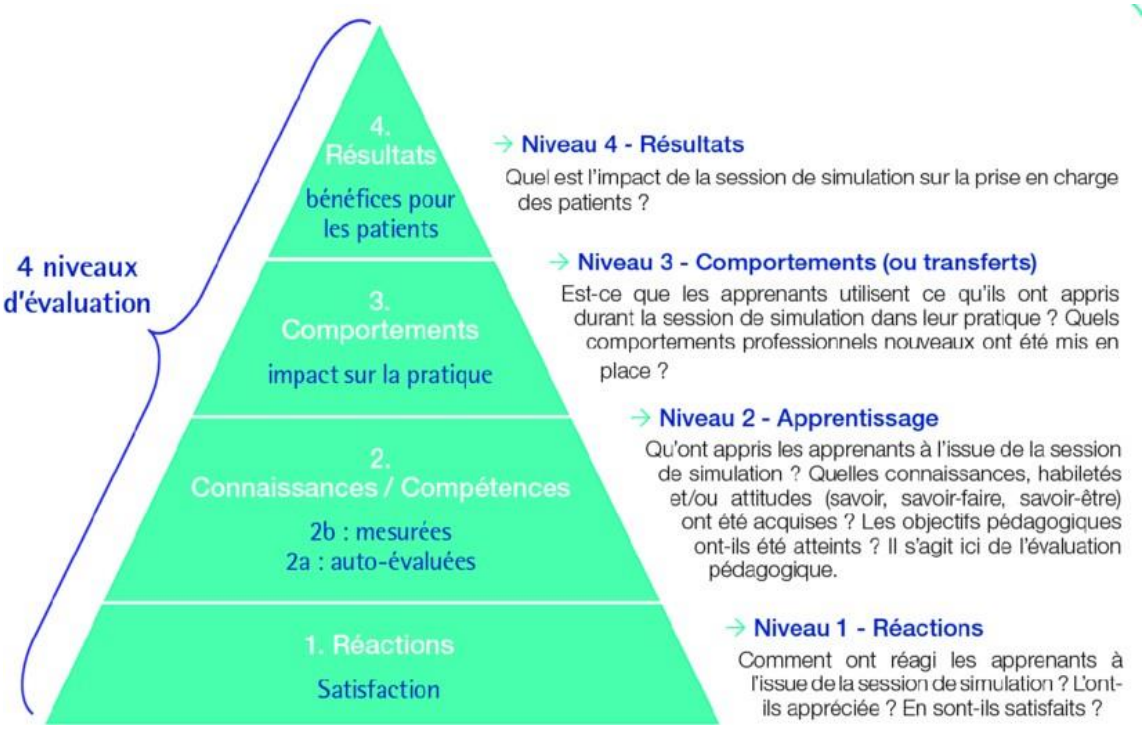


Figure 11 : La pyramide de Kirkpatrick

(1) Niveau 1 - Satisfaction des étudiants et enseignants

Une formation est efficace si elle provoque une réaction positive chez l'apprenant ; de nombreux auteurs rapportent le côté ludique et interactif de la simulation (40, 41,42). Les

outils les plus utilisés pour évaluer le niveau 1 sont des échelles d'autoévaluation, une note ou des questionnaires de satisfaction. La littérature illustre que les apprenants apprécient la simulation et souhaitent une intégration de la simulation dans le cursus médical (42). La satisfaction des apprenants et des formateurs a déjà été largement étudiée en simulation, certainement grâce à la facilité d'évaluation de cette donnée (43). Ainsi, même si l'évaluation du niveau 1 doit faire partie de toute formation pour progresser localement, le bénéfice sur la satisfaction ayant déjà été largement démontré dans la littérature, cet objectif n'est plus très pertinent dans le domaine de la recherche en simulation.

(2) Niveau 2 – Apprentissage : acquisition des compétences techniques et non-techniques

Afin de respecter les recommandations de l'HAS « jamais la première fois sur le patient », tout geste technique peut désormais s'apprendre et se répéter sur des mannequins procéduraux ou grandeur nature. L'apprentissage peut être répété et réactualisé autant de fois que nécessaire pour garantir une rétention des compétences. Selon Kopta, l'acquisition d'une nouvelle compétence technique de type psychomotrice se déroule en 3 phases : la phase cognitive, la phase intégrative et la phase autonome (74). Au cours de la phase cognitive, l'apprenant appréhende la tâche en faisant un inventaire mental des étapes nécessaires à la réalisation de la procédure. Il commence ensuite à transformer cette connaissance en comportement moteur approprié. La phase autonome est atteinte lorsque la procédure ne met plus en jeu de ressources cognitives. Le niveau 2 de Kirkpatrick peut s'étudier avec l'aide de tests de performance ou d'examens écrits. Les outils incluent les pré-tests et post-tests de type autoévaluation, l'hétéro-évaluation (par des échelles d'évaluation validées) ou les analyses de courbes d'apprentissage illustrant les 3 phases d'un apprentissage réussi. Dans la méta-analyse de David Cook publiée en 2011 dans la revue JAMA et constituant l'une des publications fondamentales de la pédagogie par la simulation, l'évaluation portait sur des critères du niveau 2 dans 90 % des 609 études incluses (75). Les compétences les plus fréquemment étudiées étaient les compétences techniques, puis les connaissances théoriques. La conclusion de cette méta-analyse orientait plutôt la future recherche en simulation vers l'évaluation des niveaux supérieurs de la pyramide de Kirkpatrick.

La simulation permet également de garantir la rétention des connaissances et compétences. On observe une perte de compétence très nette avec le temps en l'absence de formation continue (32,45). Des formations courtes, systématisées et répétées à intervalles réguliers

permettent d'optimiser le niveau de rétention des compétences (76), la formation répétée des gestes techniques sur simulateur parait donc essentielle.

(a) Niveau 3 – Comportements : changement des pratiques professionnelles

Le troisième niveau de la pyramide évalue les changements dans le comportement des apprenants suite à la formation en simulation, donc le changement des pratiques professionnelles. On recherche le transfert des apprentissages de l'environnement simulé vers le monde réel de l'hôpital. Une étude en simulation portant sur les cathéters veineux centraux rapporte qu'après formation en simulation, les internes ont un plus grand taux de succès dans la réalisation du même geste technique dans leur pratique clinique au sein d'une unité de soins intensifs (57). Ce niveau peut s'avérer difficile à démontrer car il implique un lien entre la formation en simulation et la pratique en milieu clinique réel source de nombreux biais liés par exemple au contexte clinique ou au cursus des différents apprenants (8,9,58).

(b) Niveau 4 – Impact pour le patient : limiter les risques d'incidents

Le niveau 4 évalue l'impact clinique de la formation sur l'établissement de santé, son activité et sur les soins aux patients par des mesures objectives telles que la mortalité et/ou la morbidité. Le rapport « To Err Is Human » (2) proposait des solutions aux événements indésirables associées aux soins, parmi lesquelles la simulation. Le niveau 4 devrait donc idéalement être l'objectif à atteindre pour toute formation en simulation. Cependant, plus le niveau d'évaluation est élevé, plus la mesure de variables est difficile et plus les biais sont nombreux. Un des rares exemples publiés d'évaluation du niveau 4 est une étude portant sur une formation par simulation à la pose de cathéters veineux centraux chez des internes de médecine interne et de médecine d'urgence dans une unité de soins intensifs évaluant l'asepsie et la technique d'insertion (59). Les résultats montraient une réduction significative du taux de bactériémies liée à la pose de ces cathéters veineux centraux dans le groupe formé par la simulation comparé à un groupe contrôle.

Un 5ème niveau, parfois ajouté au modèle de Kirkpatrick, correspond au « retour sur l'investissement ». Les économies réalisées sont-elles supérieures au coût de la formation ? Une étude, portant également sur les cathéters veineux centraux, a atteint le niveau 5 en montrant que la formation par simulation coûtait moins cher que le traitement des complications liées aux erreurs commises sur les patients réels (60).

b) Les limites de la simulation

La simulation présente de nombreux avantages largement décrits dans la littérature, mais également quelques inconvénients. Les deux principales limites sont le coût important pour la mise en place d'un programme de simulation (locaux, matériel, personnel) et le temps accordé aux formateurs, qui sont également praticiens, pour l'enseignement. La présence d'un personnel qualifié en simulation est indispensable. L'équipe minimale pour une formation avec mannequins inclut deux professionnels de santé et un technicien. Le nombre de formateurs qualifiés est souvent insuffisant ce qui peut compromettre le respect des objectifs pédagogiques. La qualité d'une formation doit ainsi être systématiquement évaluée car les conséquences d'une séance de simulation mal construite peuvent être délétères pour l'apprenant et compromettre les apprentissages (61). Le choix du bon outil, du bon scénario et des objectifs pédagogiques adaptés aux apprenants est donc un prérequis indispensable à toute simulation, nécessaire pour garantir l'apprentissage. La recherche en simulation est un outil indispensable pour affiner les connaissances, guider l'utilisation des différents outils de simulation et améliorer l'apprentissage.

c) Etat des lieux de la simulation en France

Alors qu'aux Etats-Unis ou encore en Angleterre la simulation est aujourd'hui un outil pédagogique incontournable dans l'enseignement initial des professionnels de santé mais également pour les certifications régulières obligatoires, son développement en France est plus récent. Depuis le rapport HAS de 2012 (45) présentant un état des lieux de la simulation en santé en France ainsi que des objectifs de développement à court terme, les centres de simulation se sont développés très rapidement à l'échelle nationale. Il est actuellement difficile de recenser les structures dédiées à la simulation car il existe de nombreuses organisations qui utilisent la simulation à des degrés variés (in situ, basse fidélité). Il existe actuellement 50 centres de simulation médicale en France recensé par la SOciété FRAncophone de SIMulation en Santé (SOFRASIMS). Celle-ci propose aux structures qui le souhaitent un processus d'évaluation externe afin de s'engager dans une démarche d'amélioration continue de la qualité comme cela a été préconisé par l'HAS.

d) Les formations aux compétences non-techniques

Le sujet des compétences non-techniques et du facteur humain est abordé lors des différentes formations en simulation proposées en formation initiale ou continue notamment lors des débriefings. Depuis novembre 2019, un Diplôme Universitaire spécifique existe : facteurs humains et gestion des risques en santé, proposé par le Dr Pierre Raynal et l'Université de Versailles – St-Quentin-en-Yvelines.

Nous venons de revoir l'historique de la simulation en santé ainsi que le rationnel pédagogique qui lui est associé. Nous allons maintenant détailler l'une des formes de simulation utilisée pour la formation en santé : la simulation numérique.

C. Les environnements virtuels de type simulation numérique en pédagogie médicale.

Les environnements virtuels se sont eux aussi développés dans le domaine de la pédagogie médicale. Les simulateurs numériques qui intègrent un monde virtuel réaliste, représentent un outil pédagogique important pour l'apprentissage de la prise en charge de situations médicales. Ils permettent un apprentissage expérientiel et favorisent ainsi le passage de la théorie à la pratique. Ils permettent un apprentissage basé sur des objectifs prédéfinis, permettant un retour d'information (feed-back) et une répétition. Ils permettent enfin l'entraînement sur des situations imprévisibles et rares, sans risque ni pour l'apprenant ni pour le patient. Les simulateurs numériques « Born to be alive » (Ilumens et Dassault Systems), 3D Virtual Operating Room (KTM Advance), 3D Pulse ou encore HemosimsTrauma (Medusims®) permettent ainsi l'entraînement de professionnels de santé à des situations médicales plus ou moins critiques telles que l'accouchement ou la prise en charge d'un patient polytraumatisé.

1. Définitions

Il existe de nombreuses définitions des simulateurs numériques autrement appelés « jeux sérieux ou serious games ». Julian Alvarez considère que « la vocation d'un serious game est d'inviter l'utilisateur à interagir avec une application informatique dont l'intention est de combiner à la fois des aspects d'enseignement, d'apprentissage, d'entraînement, de communication ou d'information, avec des ressorts ludiques issus du jeu vidéo. Une telle

association a pour but de donner à un contenu utilitaire, une approche vidéo-ludique. Elle s'opère par la mise en relation d'un scénario utilitaire avec un scénario ludique. » (77).

Le centre de ressources et d'information sur les multimédias pour l'enseignement supérieur, les définit comme « des applications développées à partir des technologies avancées du jeu vidéo, faisant appel aux mêmes approches de design et savoir-faire que le jeu classique (3D temps réel, simulation d'objets, d'individus, d'environnements…) mais qui dépassent la seule dimension du divertissement » (78).

Selon Bergeron, un serious game permet le développement de connaissances ou des compétences qui peuvent être appliquées dans la vie réelle (79). Le serious game possède donc un côté utilitaire, il ne doit pas forcément être amusant mais doit être prenant, stimulant. Cette nuance est importante car le divertissement pourrait détourner l'apprenant du contenu utilitaire, alors que l'aspect « prenant » du serious game pourrait au contraire l'amener à être plus concentré sur ce même contenu. L'absence de définition consensuelle des serious games rend difficile d'interprétation les catégorisations qui ont été effectuées par la suite, et notamment les frontières entre serious games et simulation.

Les environnements virtuels utilisés dans cette thèse, Perinatsims (simulation de l'hémorragie du post-partum et de la réanimation du nouveau-né) sont des environnements 3D immersifs dont l'objectif est l'entraînement des professionnels de santé à la prise en charge de situations d'urgence. L'objectif est d'effectuer des actions en fonction des scénarii en accord avec les recommandations des sociétés savantes. La réalisation des actions adaptées permettra le succès de la réanimation alors qu'un mauvais enchaînement d'actions peut en entraîner l'échec (sous forme d'un arrêt précoce du scénario). Ces simulateurs permettent l'entraînement par la répétition des scénarii identiques ou différents avec difficulté variable. Un tutoriel, un briefing et un retour sur les actions réalisées en fin de scénario permettent une utilisation autonome de ces simulateurs. Nous avons fait le choix dans ce travail de parler de simulation/simulateur numérique ou de « screen-based simulation » pour les publications anglophones. La « screen-based simulation » est définie comme « une simulation présentée sur un écran d'ordinateur utilisant des images graphiques et du texte, similaire au format de jeu populaire, où l'opérateur interagit avec l'interface à l'aide d'un clavier, d'une souris, d'un joystick ou autre. Les programmes peuvent fournir une rétroaction et suivre les actions des apprenants pour l'évaluation, éliminant ainsi le besoin d'un instructeur » (80), traduction libre.

Les simulateurs numériques dans le domaine de la pédagogie médicale évoluent dans un environnement virtuel permettant de reproduire les conséquences des actions de la même manière que dans la vie réelle (81). Ils intègrent des objectifs préétablis, par exemple la guérison du patient. Ils partagent avec la simulation un environnement virtuel mimant le comportement de la vie réelle. L'objectif est de permettre l'acquisition de connaissances, compétences, attitudes, comportements, qui soient ensuite transférables à la vie réelle.

2. L'apprentissage dans la conception des simulateurs

Dans le domaine de la recherche en pédagogie, les études sont en faveur d'un fonctionnement cérébral commun à tout être humain, démontré notamment pour l'apprentissage de la lecture et des mathématiques (82). L'idée de « styles d'apprentissage » spécifiques à chaque individu ne repose sur aucun rationnel scientifique (83). Nous allons lister ci-dessous les caractéristiques des simulateurs numériques ayant fait la preuve de leur efficacité pédagogique sur la base de résultats obtenus sur de larges populations en sciences cognitives puis spécifiquement étudiées dans le contexte de la simulation numérique. Ces caractéristiques ont été rapportées dans plusieurs revues sur les simulateurs numériques en pédagogie (84) et plus particulièrement en santé (85).

a) Guider l'apprenant

L'apprenant novice nécessite d'être guidé dans l'apprentissage. Une méta-analyse portant sur 164 études a mis en évidence qu'un apprentissage non guidé ne permettait pas aux apprenants d'acquérir les connaissances et les compétences souhaitées (86). Des conclusions similaires sont retrouvées dans le domaine des simulateurs numériques. Il est montré que, chez des collégiens, l'utilisation de techniques pour guider l'utilisateur au sein de simulateurs numériques à visée scientifique permet d'obtenir de meilleurs résultats en matière de raisonnement scientifique et d'esprit critique que l'utilisation de ces mêmes simulateurs sans guidance (87). Ainsi, des techniques permettant d'aider l'utilisateur à sélectionner les informations pertinentes (« guidance ») au sein d'un simulateur numérique sont associées à des gains plus importants en matière d'apprentissage que d'autres techniques pédagogiques privilégiant l'organisation des connaissances (88). Dans le domaine de la simulation numérique, l'absence de « guidance » risque de focaliser l'apprenant sur le côté ludique plutôt que sur l'acquisition de connaissances et de compétences utiles (89).



Figure 12 : Exemple de technique de « guidance » dans le simulateur RNN sous forme d'encadrés de rappel en haut à droite.

Selon les résultats de la méta-analyse citée précédemment (86), voici les trois méthodes les plus efficaces pour guider un apprenant :

(1) L'utilisation d'exemples/de démonstrations

L'utilisation d'exemples ou de démonstrations a été très étudiée dans le cadre de l'apprentissage de nouvelles compétences dans le milieu professionnel : une méta-analyse a révélé l'efficacité de l'utilisation de modèles suivie d'entraînement avec feed-back pour acquérir de nouvelles compétences et/ou de nouveaux comportements au travail (90). En simulation sur mannequin, l'utilisation d'exemples est également associée à de meilleures performances (91). Dans le domaine de la simulation numérique, Wouters *et al.* concluent dans leur méta-analyse que l'utilisation de modèles est l'une des méthodes les plus efficaces en matière pédagogique (88). Des interrogations subsistent sur la meilleure manière d'intégrer ces démonstrations à l'outil pédagogique. Aucune étude n'a comparé l'efficacité d'une démonstration introduite avant, pendant, ou après la période d'entraînement de l'apprenant. La démonstration serait plus efficace si elle associe des exemples dit positifs, de ce qu'il faut faire et des exemples dits négatifs de ce qu'il ne faut pas faire, mais aucune étude n'a évalué cette modalité dans le domaine de la simulation numérique.

(2) L'utilisation de retour d'information/feed-back

L'objectif du feed-back est de permettre l'apprentissage grâce au retour d'information sur la performance de l'apprenant. Une méta-analyse de 1996 confirmait déjà que le feed-back améliorait les performances des apprenants, mais de façon non-systématique car dans un cas

sur trois il conduisait au contraire à une diminution des performances (50). Suite à l'analyse de ces résultats, les auteurs ont révélé que le feed-back était d'autant plus efficace qu'il était objectif et centré sur la tâche à réaliser. Au contraire, les feed-backs plus subjectifs n'étaient pas efficaces. Les feed-backs délivrés par des ordinateurs, plus focalisés sur la tâche et perçus comme plus objectifs, permettaient un meilleur apprentissage que des feed-backs délivrés oralement par un tiers. Dans le domaine de la simulation numérique, la méta-analyse de Wouters *et al*. a confirmé que le feed-back, en guidant l'utilisateur vers la sélection d'informations pertinentes à son apprentissage, était une des caractéristiques associées à une meilleure efficacité pédagogique (88). Les feed-backs possèdent différentes caractéristiques pouvant moduler leur efficacité :

Le contenu du feed-back peut ainsi être correctif et donner une information à l'utilisateur sur sa performance, grâce à un score de performance par exemple, ou encore explicatif et donner des explications sur les raisons du succès/de l'échec, et guide l'utilisateur vers les stratégies à adopter pour réussir la simulation numérique. Ces deux types de feed-back ne sont pas exclusifs. La recherche, en sciences de l'éducation et dans le domaine spécifique de la simulation numérique, a montré que l'utilisation d'un feed-back explicatif permet un meilleur apprentissage que l'utilisation d'un feed-back correctif seul (92,93).

La modalité d'implémentation du feed-back est également importante : voie visuelle ou voie auditive. L'utilisation de la voie auditive permettrait un meilleur apprentissage que l'utilisation de la voie visuelle lorsque des supports multimédias sont utilisés (94). La simulation numérique demande une attention visuelle importante. Présenter le feed-back sous la forme d'informations auditives améliore l'apprentissage, dans des études évaluant la mémoire à long terme mais également le transfert des apprentissages (95,96). L'enregistrement et l'utilisation dans les simulateurs numériques de voix humaines plutôt que synthétiques est associée à un meilleur apprentissage et à un meilleur transfert des apprentissages (97,98).

Le moment du feed-back est également une caractéristique importante ayant fait l'objet de recherches qui ont comparé l'efficacité d'un feed-back immédiat à l'efficacité d'un feed-back retardé. En sciences de l'éducation, les résultats de ces recherches sont contradictoires, et ne permettent pas de montrer clairement la supériorité de l'une ou l'autre des solutions (99). Dans le domaine de la simulation numérique, les rares études ayant comparé ces deux types de feed-backs ont retrouvé des effets marginaux en faveur du feed-back immédiat (93).

La forme du feed-back pourrait aussi avoir son importance pour l'apprentissage. Différentes formes de feed-backs correctifs existent : barre de progression, scores, points d'expérience, monnaies. Certaines pourraient distraire l'utilisateur de l'apprentissage. Une étude réalisée chez des collégiens a montré que l'utilisation d'un feed-back sous la forme d'un score ajusté en temps réel à leur performance diminuait l'impact d'un d'entraînement cognitif sur simulateur numérique (100).

Ainsi, sur la base des publications actuellement disponibles, la principale caractéristique associée à l'efficacité du feed-back est son caractère explicatif, permettant de faire comprendre à l'apprenant les raisons de son succès ou de son échec. En simulation numérique, il serait délivré au mieux oralement, par des voix humaines et dans un style conversationnel.

(3) L'utilisation de l'étayage

L'étayage en éducation, selon son théoricien Bruner, correspond à un soutien initial que l'enseignant fournit aux apprenants dans l'apprentissage d'une compétence ou d'un concept. Ce soutien est progressivement retiré, au fur et à mesure que l'apprenant progresse et apprend à utiliser la compétence indépendamment de l'enseignant (101). Dans le domaine de la simulation numérique, l'étayage recouvre différentes techniques pédagogiques comme des instructions délivrées avant l'utilisation ou des instructions apparaissant pendant l'utilisation sous la forme de questions visant à la réflexion (102,103). Une autre façon d'utiliser l'étayage est de réduire le degré de liberté de l'apprenant en le focalisant sur la tâche. Cela pourrait correspondre à ne laisser que peu d'options à l'utilisateur novice, puis à élargir progressivement la liberté de l'utilisateur en ajoutant des actions supplémentaires.

b) Augmenter l'interactivité

L'apprentissage actif est associé à de meilleurs apprentissages (48,104). En sciences cognitives, les expériences de Roediger ont montré que le test des connaissances permettait une meilleure rétention à long terme et un meilleur apprentissage que le fait de lire et relire un cours sur la même période de temps (105). Ces résultats sont contre-intuitifs pour les étudiants pour qui relire un cours représente à tort la méthode la plus productive pour apprendre (106).

La simulation numérique est interactive par nature, et permet de tester ses connaissances et/ou compétences. Dans une méta-analyse portant sur l'efficacité pédagogique de la simulation

numérique, Sitzmann met en évidence un meilleur apprentissage comparé aux autres méthodes d'instruction uniquement lorsque la majorité de l'instruction est délivrée de façon active (81). L'interactivité doit porter sur le contenu pédagogique et non pas sur des tâches annexes. Ce concept correspond à l'intégration du contenu pédagogique dans les actions du simulateur pour permettre un apprentissage efficace, il s'agit de l' « intégration intrinsèque » (107).

c) Personnaliser le contexte

En simulation numérique, il peut s'agir d'adapter continuellement le niveau de difficulté en fonction des capacités de l'apprenant. Ce domaine de recherche est très actif depuis l'émergence de l'intelligence artificielle (108). Il peut également s'agir de proposer un apprentissage prenant en compte les intérêts spécifiques de l'apprenant. La personnalisation du contexte semble être l'une des techniques pédagogiques les plus efficaces pour optimiser l'apprentissage en simulation numérique (88).

d) Optimiser la fidélité fonctionnelle

Selon Hays et Singer, il existe deux types de fidélité : la fidélité physique et la fidélité fonctionnelle (ou cognitive) (109). La fidélité physique évalue la ressemblance entre monde virtuel et monde réel (dans ses graphismes essentiellement), alors que la fidélité fonctionnelle évalue jusqu'à quel point le monde virtuel se comporte comme le monde réel. Ces deux paramètres ont un impact différent sur le transfert de compétences acquises dans un environnement virtuel, vers un environnement réel.

En simulation sur mannequin, la fidélité physique semble avoir très peu d'impact sur le transfert des compétences (110,111). Les mannequins haute-fidélité, très sophistiqués et très onéreux, n'apportent pas beaucoup de gain en matière d'apprentissage par rapport aux mannequins basse-fidélité plus basiques. En revanche, plusieurs études ont montré l'importance de la fidélité fonctionnelle. Les processus cognitifs des apprenants pendant la simulation doivent être le plus proche possible des processus cognitifs mis en place dans la vie réelle pour un meilleur transfert des apprentissages (112–114).

Il a été montré que l'utilisation de simulateurs numériques avait des conséquences sur les fonctions cognitives (115,116). De nombreuses études confirment que des compétences

acquises dans un environnement virtuel peuvent être transférées dans la vie réelle, que ce soit dans les domaines de l'aviation (117), de la défense (118), ou de la chirurgie (119). Il existe cependant trop peu d'études dans le domaine de la simulation numérique en santé à l'heure actuelle pour affirmer le lien entre une fidélité cognitive élevée et de meilleurs apprentissages. Néanmoins, les données de la recherche en simulation sur mannequin laissent penser qu'il s'agit d'un paramètre important à considérer pour le transfert des apprentissages de la simulation à la vie réelle.

e) Répéter les apprentissages

La répétition est l'une des techniques les plus reconnues pour favoriser l'apprentissage. La pratique répétée au cours de la formation a été particulièrement étudiée en simulation sur mannequin, une méta-analyse ayant clairement montré sa supériorité par rapport aux enseignements classiques (120). En simulation numérique, deux méta- analyses confirment que l'utilisation répétée de ces logiciels conduit à de meilleurs apprentissages que lorsque ces logiciels ne sont utilisés qu'à une ou deux reprises (81,121).

3. Rationnel théorique pour l'utilisation de la simulation numérique en pédagogie médicale

a) Acquérir des connaissances

La plupart des simulateurs numériques intègrent les piliers de l'apprentissage du professeur Stanislas Dehaene détaillés précédemment (46). Il semble donc exister un rationnel théorique fort en faveur de l'utilisation de tels outils en pédagogie. Nous allons détailler chacun des quatre piliers appliqués à la simulation numérique.

(1) L'attention

(a) L'alerte

Tout d'abord, les apprenants doivent être alertes. Leurs cerveaux doivent être en éveil, réceptifs à l'apprentissage qui va être dispensé. Pour maximiser l'apprentissage et la mémorisation, le niveau d'alerte du cerveau ne doit être ni trop faible (ennui) ni trop fort (stress) (122). Les simulateurs numériques permettent d'obtenir ces niveaux d'éveil nécessaires à l'apprentissage en jouant sur trois domaines : le défi proposé par le simulateur,

la motivation de l'apprenant, et l'environnement graphique et sonore. La motivation de l'utilisateur, positivement corrélée à son niveau d'éveil (123), peut être augmentée grâce à l'utilisation de simulateurs numériques du fait notamment de leurs ressorts ludiques (107,124) et de l'environnement graphique et sonore. Les simulateurs numériques récents utilisant des environnements graphiques et sonores de grande qualité augmentent le degré d'éveil de l'utilisateur (125,126).

Le défi proposé par le simulateur a également un impact sur l'éveil de l'utilisateur. Selon la théorie du Flow de Csikszentmihalyi, si le niveau de difficulté proposé est trop faible par rapport aux compétences de l'utilisateur, il risque l'ennui, la réduction de l'éveil et la diminution des performances (127,128). La théorie du flow a été reprise par le domaine des simulateurs numériques afin d'optimiser l'apprentissage. Elle stipule que, pour obtenir une immersion garantissant un apprentissage optimal, l'apprenant doit se trouver dans le canal du « flow », c'est-à-dire au juste-milieu entre le niveau de difficulté et son niveau de compétence (129). Si le niveau de compétence est trop élevé par rapport au niveau de difficulté, l'apprenant s'ennuie et n'apprend pas. Si le niveau de compétence est trop faible, le joueur est stressé ou en échec et n'apprend pas.

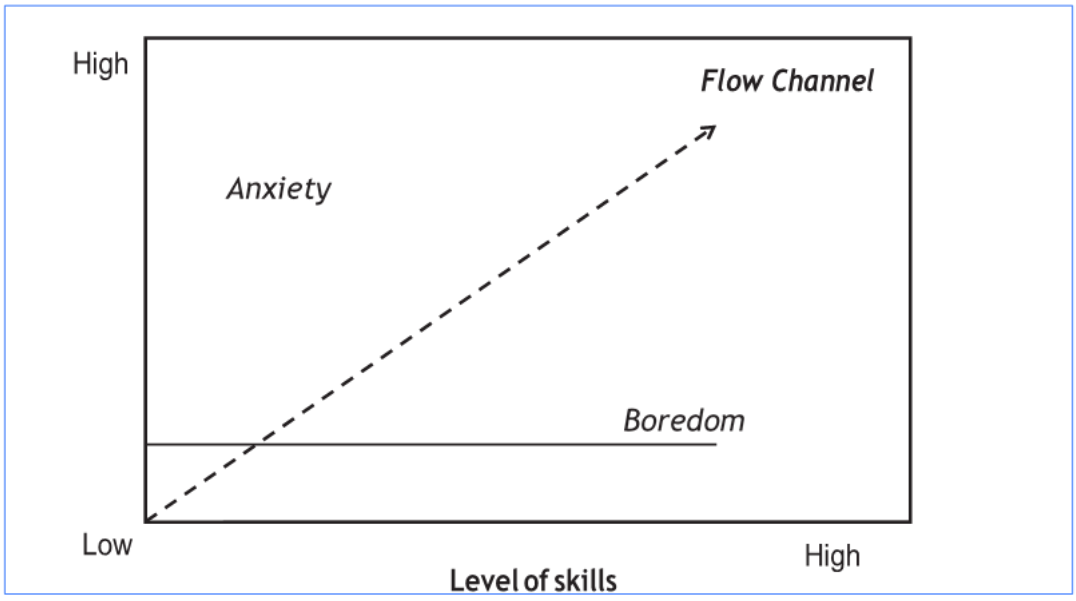


Figure 13 : la représentation de la théorie du flow (130)

(b) L'orientation

Le second système attentionnel, l'orientation, correspond à la faculté de sélectionner des stimuli aux dépens d'autres et de choisir ceux qui vont faire l'objet d'un traitement approfondi. Dans le domaine de la simulation numérique, les concepteurs peuvent guider l'apprenant de différentes manières. La mise en lumière d'éléments pertinents utiles à l'apprenant comme des clignotements ou des couleurs vives est une première méthode. Une autre manière consiste à guider l'utilisateur dans sa recherche visuelle des informations pertinentes à l'aide d'instructions audio. Une troisième méthode est de donner à l'utilisateur un retour d'information sur ses actions. Une quatrième façon est de proposer une démonstration au cours de laquelle le simulateur montre à l'utilisateur la démarche qu'il doit suivre pour résoudre un problème, en lui indiquant les éléments à prendre en compte et à utiliser (88). Enfin, il est possible d'intégrer les informations utiles dans des objets virtuels dont l'utilisateur a besoin de se servir pour atteindre l'objectif donné par le simulateur.

(c) Le contrôle exécutif

Le contrôle exécutif, troisième système attentionnel, permet de se concentrer sur une tâche en inhibant toutes sources de distractions. Le caractère immersif des simulateurs numériques pourrait représenter un moyen efficace de maintenir l'attention des apprenants sur leur tâche sur des périodes prolongées (131).

(2) L'engagement actif

L'apprentissage actif rend l'apprenant acteur de son apprentissage et s'oppose à l'apprentissage passif qui correspond à l'écoute passive d'un expert (48). L'apprentissage actif permet de meilleurs résultats en terme d'acquisition de connaissances et de modification des comportements que l'apprentissage traditionnel par cours magistraux (104,132). La nature interactive de tout simulateur numérique renforce l'apprentissage actif associé à ce type de formation. L'apprenant doit s'impliquer pour avancer dans la simulation, contrairement à un cours magistral au cours duquel il peut choisir d'écouter ou non.

(3) Le retour d'information ou feed-back

Notre cerveau semble fonctionner comme une machine qui génère des prédictions et en intègre ensuite les résultats pour améliorer les prédictions suivantes. L'apprentissage correspond à la réduction de la différence entre le résultat imaginé et le résultat réel, grâce au retour d'information obtenu (49,133). Les principales implications sont la nécessité d'un apprentissage expérientiel, au cours duquel la prédiction peut être « testée » et l'importance

du retour d'information, ou feed-back, pour que le différentiel entre le résultat imaginé et le résultat réel puisse être évalué et conduire à l'apprentissage. Les simulateurs numériques proposent un retour d'information totalement objectif, qui se concentre uniquement sur l'écart entre l'action attendue et l'action effectuée par l'apprenant, et optimisent ainsi le potentiel du retour d'information.

(4) La consolidation

La répétition est un pilier de la consolidation des apprentissages (51,52). Elle semble encore plus efficace quand l'apprenant alterne des périodes d'entraînement et de repos, permettant une meilleure mémorisation à long terme (134,135). La répétition est au cœur des simulateurs numériques qui fonctionnent par scénario. Dans la mesure où les actions permises par le jeu sont limitées, elles sont chacune répétées à maintes reprises par l'apprenant. La répétition, élément clé de la consolidation à la base de tout apprentissage, est donc également une caractéristique fondamentale de la simulation numérique.

b) Acquérir des compétences : de la simulation physique à la simulation virtuelle

Les simulateurs numériques présentent les avantages éducatifs des mondes virtuels qui simulent le monde réel. En simulation médicale, le potentiel de ce type d'approche a d'abord été envisagé avec les simulateurs physiques (mannequins de tâche, mannequins basse et haute-fidélité) qui ont été étudiés pour leur efficacité pédagogique. Les résultats concluants de ces recherches encouragent à appréhender le potentiel pédagogique de la simulation numérique intégrant un monde virtuel.

(1) L'apprentissage expérientiel

Tout simulateur permet à l'apprenant de mettre en application les connaissances qu'il a acquises. Les étudiants en médecine font souvent part de leur difficulté à appliquer en pratique des connaissances acquises en cours et parfaitement retenues (136). La simulation, physique ou virtuelle, permet grâce à la mise en situation et à l'expérimentation active, de confronter ses connaissances théoriques à une expérience pratique. Toute expérience sur simulateur est suivie d'une phase réflexive au cours de laquelle l'apprenant transforme l'expérience pratique en une nouvelle connaissance généralisable et applicable à d'autres contextes. Cette phase réflexive, en simulation sur mannequin, est réalisée à l'occasion d'un débriefing qui suit la phase pratique de mise en situation, reconnu comme un élément

essentiel de la séance de simulation, nécessaire pour l'apprentissage (69). Son efficacité pédagogique est maintenant clairement établie (75).

Le réalisme est un paramètre crucial pour les simulateurs numériques afin de garantir l'apprentissage. Selon le modèle de Kolb (137), l'apprentissage est un cycle : expérience concrète, observation réflexive, conceptualisation abstraite, expérimentation active, etc. Les simulateurs numériques intégrant un monde virtuel pourraient donc s'intégrer à ce même cycle d'apprentissage. Pour cela, l'expérience proposée n'étant pas tout à fait concrète, son degré de réalisme sera d'une importance majeure. Le réalisme en tant que tel, se décline en trois dimensions (110,138) : le réalisme physique, qui est la ressemblance entre l'environnement virtuel et l'environnement réel. Il est déterminé par la qualité de l'environnement graphique et sonore du simulateur. Les progrès récents en informatique permettent des environnements virtuels de plus en plus réalistes. Puis le réalisme cognitif, qui est la ressemblance entre les actions réalisables et attendues dans le monde virtuel et celles dans le monde réel. Les schémas cognitifs mis en jeu lors de la simulation doivent être aussi proches que possibles de ceux mis en jeu dans la vie réelle. Enfin, le réalisme émotionnel est la capacité à mettre l'utilisateur dans le même registre émotionnel que dans la vie réelle. En matière d'apprentissage, la principale dimension est le réalisme cognitif. Augmenter le réalisme physique d'une simulation ne semble pas permettre un gain majeur en matière d'apprentissage (69).

(2) La pratique délibérée et la pédagogie de la maîtrise

La simulation, physique comme virtuelle, pourrait correspondre à un mode d'entraînement décrit par le professeur Ericsson en 1993 : la pratique délibérée (139). L'acquisition d'une expertise dans un domaine dépendrait moins du talent inné que de la pratique, et moins du nombre d'heures d'entraînement que de la manière dont ces heures sont utilisées. Pour un sportif de haut-niveau, un retour pertinent de l'entraîneur après chaque entraînement permettrait des progrès plus constants que la multiplication excessive des entraînements, au risque de mener à la blessure. En simulation, c'est le rationnel utilisé lorsque l'apprenant a des objectifs clairs, une pratique ciblée et répétée, un retour d'information pertinent pour améliorer ses compétences, et que le niveau de difficulté augmente à chaque fois que l'objectif précédent est atteint (HAS 209).

Une autre théorie correspondant à l'apprentissage par la simulation est la pédagogie de la maîtrise dont le principe est d'offrir une pratique répétée jusqu'à ce que l'apprenant atteigne

un niveau minimal de compétence requis (140,141). A l'issue d'un enseignement basé sur la pédagogie de la maîtrise, tous les apprenants ont atteint le même niveau, mais certains apprenants ont dû s'entraîner plus longtemps que d'autres.

Ces deux méthodes pédagogiques consistent à acquérir un niveau adéquat de compétences quelle que soit la durée de l'apprentissage. Elles vont donc à l'encontre de l'enseignement classique où l'on obtient plutôt des résultats hétérogènes pour une même durée de formation. Cette approche par compétence est particulièrement intéressante pour l'apprentissage des prises en charge de situations médicales. En effet, dans ces situations, il importe que le soignant ait acquis un niveau adéquat de compétence, quelle qu'ait été la durée de son apprentissage.

La simulation numérique offre les conditions de la pratique délibérée et de la pédagogie de la maîtrise, en instaurant des objectifs, en obligeant l'utilisateur à répéter sa performance jusqu'à atteindre le niveau prédéfini, en autorisant l'accès à un niveau de difficulté supérieur seulement lorsque l'objectif précédent est atteint, et en donnant un retour d'information sur la performance. En pédagogie médicale, la simulation numérique pourrait représenter un outil pertinent pour assurer que les apprenants atteignent un niveau minimal de compétence à l'issue d'un entraînement plus ou moins long selon leur niveau de départ.

(3) Un entraînement sans risque sur des situations rares

La simulation numérique permet également de provoquer la situation d'apprentissage. Certaines situations médicales comme l'hémorragie du post-partum sont rares et imprévisibles. Il est difficile d'enseigner leur prise en charge au moment où elles surviennent. La simulation numérique permet de reproduire virtuellement ces situations, et donc de s'entraîner aux prises en charge recommandées lorsqu'elles surviennent. La simulation numérique rend possible l'apprentissage de situations rares, sans mettre en danger ni le patient, ni l'apprenant.

4. Efficacité de la simulation numérique en pédagogie médicale

Le rationnel théorique de l'utilité pédagogique des simulateurs numériques est donc important. Comparés aux autres outils de simulation, les simulateurs numériques présentent également l'avantage d'être utilisables de façon autonome. La possibilité de s'affranchir d'un formateur permet à l'apprenant d'utiliser le simulateur quand il veut, et aussi souvent qu'il le

souhaite. Cette facilité d'accès permet de viser un public beaucoup plus large. Même si la simulation numérique a un coût non-négligeable, celui-ci reste inférieur à celui de la simulation haute-fidélité sur mannequins (142,143). Cependant, les données expérimentales visant à confirmer l'intérêt pédagogique des simulateurs numériques sont encore limitées. Plusieurs revues ont mis en évidence un intérêt de la simulation numérique pour la pédagogie médicale et l'entraînement des professionnels de santé avec un bénéfice sur les connaissances et compétences techniques et non-techniques (144,145). Cependant la variabilité terminologique autour de la simulation numérique, les différentes stratégies pédagogiques utilisées ainsi que les critères d'évaluation qui varient d'une étude à l'autre rendent l'interprétation des résultats de ces revues très complexes. Une revue récente (146) s'est intéressée aux preuves de l'intérêt pédagogique de la simulation numérique comparée aux méthodes d'enseignement plus classiques. Cet article analyse 30 essais randomisés contrôlés avec toujours des risques de biais importants liés à une grande hétérogénéité de population et de critères de jugement limitant les conclusions qui peuvent être retenues. **La simulation numérique apparaît être au moins aussi efficace qu'un enseignement traditionnel et dans de nombreuses études plus efficace pour l'amélioration des connaissances, compétences et en terme de satisfaction des apprenants.**

5. La simulation numérique dans les cursus de formation en santé

Une méta-analyse a montré que l'efficacité pédagogique de la simulation sur mannequin était renforcée lorsque les sessions de simulation s'intégraient dans un cursus comprenant d'autres méthodes pédagogiques (147). L'utilisation de stratégies diverses pourrait renforcer l'apprentissage en augmentant la difficulté du cursus de formation, demandant à l'apprenant de réutiliser les connaissances et compétences acquises via une première méthode pédagogique au cours d'une seconde session de nature différente (148). Dans le domaine de la simulation numérique, l'intégration dans un cursus de formation permet également de potentialiser l'effet pédagogique (81,121). Dans la méta-analyse de Sitzmann, l'utilisation de la simulation numérique n'avait d'intérêt que lorsqu'elle représentait un supplément pédagogique au sein d'une formation plus large (81). **L'intérêt pédagogique de la simulation numérique serait donc maximisé lorsqu'elle est intégrée dans des formations plus larges faisant intervenir d'autres méthodes pédagogiques.**

II. Problématique et hypothèses

A. Problématique

Quel est l'impact des simulateurs numériques sur l'apprentissage des professionnels de santé ?

L'état de l'art nous a permis de revenir sur la question de la sécurité du patient et sur les différentes approches actuelles permettant de l'assurer, de l'améliorer mais surtout de s'y former. Nous avons ensuite repris le contexte de la formation en médecine et notamment la place de la simulation pour la formation aux différentes compétences requises pour la pratique. Nous nous sommes enfin concentrés sur la simulation numérique afin de redéfinir son rationnel pédagogique et ses différentes applications dans la formation actuelle des professionnels de santé.

L'objectif de ce travail sera d'analyser un nouveau cadre d'application de la simulation numérique pour la formation aux compétences non-techniques (CNT), indispensable à la sécurité des patients et à la réduction des événements indésirables en santé. Nous nous intéresserons également à l'impact pédagogique de ces simulateurs et plus précisément à la place du débriefing et à la rétention de connaissances et compétences après formation en simulation numérique.

Ce travail doctoral s'articule autour de deux expérimentations basées chacune sur un simulateur numérique.

La première expérimentation s'est appuyée sur le simulateur Perinatsims (hémorragie du post-partum), développé par la société Medusims®, destiné à entraîner les sages-femmes à la gestion des hémorragies du post-partum. Cette expérimentation a permis l'analyse de données selon deux objectifs liés à la **mobilisation et à l'entraînement des compétences non-techniques.**



La deuxième expérimentation s'est appuyée sur un autre module du simulateur Perinatsims (réanimation du nouveau-né en salle de naissance), également développé par la société Medusims®, destiné à tout personnel de santé possiblement en charge de la réanimation d'un nouveau-né en salle de naissance (sage-femme, pédiatre, anesthésiste). Cette expérimentation a permis l'analyse de données selon deux objectifs : **l'impact d'un débriefing intégré au simulateur numérique et la rétention de connaissances après formation sur simulateur numérique.**



Ce travail sera présenté comme une thèse sur articles. Chaque hypothèse correspond à un article publié. Chaque hypothèse sera brièvement introduite et discutée. Une discussion générale conclura le travail.

B. Hypothèses :

1. Expérimentation 1 :

Les progrès technologiques et informatiques ont permis le développement de nouveaux types de simulateurs : les environnements virtuels. Mais quelle est leur efficacité pédagogique en santé ? Et qu'en est-il de leur possibilité d'entraînement des compétences non-techniques ?

a) Hypothèse 1 :

La répétition de l'entraînement par le simulateur numérique Perinatsims améliore les compétences non-techniques des participants à l'étude (étudiants sages-femmes) pour prendre en charge une hémorragie du post-partum (article 1).

b) Hypothèse 2 :

L'entraînement par simulateur numérique Perinatsims avec des scénarii spécifiques pour mobiliser les compétences non-techniques et suivi d'un débriefing permet une amélioration des CNT des participants (étudiants sages-femmes) lors de la prise en charge d'une hémorragie du post-partum en simulation haute-fidélité (article 2).

2. Expérimentation 2 :

Le développement des simulateurs numériques est en plein essor. Ils correspondent à une alternative ou un complément à la formation par simulation sur mannequin. Mais qu'en est-il du débriefing après ce type de simulation ? Et qu'en est-il de la rétention des compétences après formation sur ce type de simulateurs ?

a) Hypothèse 1 :

Le débriefing intégré au simulateur numérique Perinatsims favorise l'apprentissage, l'acquisition de compétences techniques et non-techniques des participants (étudiants sages-femmes) pour prendre en charge la réanimation d'un nouveau-né en salle de naissance (article 3).

b) Hypothèse 2:

L'entraînement sur simulateur numérique Perinatsims permet une rétention de connaissances et de compétences à deux mois chez les participants de l'étude (étudiants sages-femmes). (article 4).

III. Partie expérimentale

A. Expérimentation 1

1. Hypothèse 1 (Article 1: Does Repeated Exposure to Critical Situations in a Screen-Based Simulation Improve the Self-Assessment of Non-Technical Skills in Postpartum Hemorrhage Management? Simulation and Gaming, 2019.)

a) Introduction

La première expérimentation de ce travail fait partie du projet MacCoy Critical financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR). L'objectif du projet était d'étudier et d'améliorer les dispositifs de formation utilisant la simulation et les environnements virtuels dans la formation continue en médecine et dans la conduite automobile. Le projet s'intéresse plus particulièrement aux compétences non-techniques et à leur mise en œuvre dans les situations critiques rencontrées par ces deux populations d'apprenants.

Ainsi, du côté médical, nous avons travaillé sur la situation critique de l'hémorragie du post-partum (HPP). Il s'agit en effet la première cause de mortalité maternelle, on estime que plus de 100 000 femmes meurent chaque année des suites d'une HPP (149). En France, les expertises révèlent que 80 % des décès liés à des hémorragies pourraient être évités (150). Bien que la reconnaissance rapide de l'HPP soit la condition principale de prévention de la mortalité maternelle, les facteurs organisationnels et humains ne sont pas à négliger. La rapidité de prise en charge, la gravité de la situation et sa probabilité d'occurrence assez faible, fait de l'HPP une situation potentiellement à risque. Les compétences non-techniques, comme la communication, la gestion du stress, le travail collaboratif et la conscience de la situation deviennent des éléments à prendre en considération dans les modules de formation.

Les simulateurs numériques qui intègrent un monde virtuel réaliste, représentent un outil pédagogique important pour l'apprentissage de la prise en charge de situations médicales. Ils permettent un apprentissage expérientiel et favorisent ainsi le passage de la théorie à la pratique. Ils permettent un apprentissage basé sur des objectifs prédéfinis, permettant un retour d'information (feed-back) et une répétition. Ils permettent enfin l'entraînement sur des situations imprévisibles et rares, sans risque ni pour l'apprenant ni pour le patient. Le

simulateur utilisé pour l'étude était le simulateur numérique Perinatsims recréant l'environnement d'une salle de naissance et amenant l'apprenant à prendre en charge une parturiente présentant une hémorragie du post-partum. Pour l'entraînement à la prise en charge de cette situation urgente et imprévisible, ce type de simulateur présente l'avantage de récréer un environnement global (151), mais également de s'entraîner à distance et de façon répétée (124), à moindre coût comparé à une séance de simulation haute-fidélité. L'hypothèse de cette première partie de l'expérimentation était que l'exposition successive à plusieurs scénarii du simulateur aurait un effet positif sur les compétences non-techniques des participants. La répétition est en effet l'un des principaux facteurs de réussite d'un apprentissage, elle s'intègre à la phase de consolidation des 4 piliers de l'apprentissage identifiées par Stanislas Dehaene (46). Il s'agit d'une analyse en autoévaluation par les questionnaires BAT (Behavioural Assessment Tool évaluant le « leadership » et le travail collaboratif), DASS 21 (évaluant les émotions : stress, anxiété), Flow (évaluant la concentration et l'investissement dans l'activité en cours) et NASA-TLX (évaluant la charge mentale liée à l'activité). Vingt étudiants sages-femmes ont participé à cette étude. Ces questionnaires sont présentés dans les annexes du document.

Check for updates

Article

Simulation & Gaming
1–22
© The Author(s) 2019
Article reuse guidelines:
sagepub.com/journals-permissions
DOI: 10.1177/1046878119827324
journals.sagepub.com/home/sag
SAGE

Does Repeated Exposure to Critical Situations in a Screen-Based Simulation Improve the Self-Assessment of Non-Technical Skills in Postpartum Hemorrhage Management?

Jessy Barré[1], Daphné Michelet[1], Anais Job[2], Jennifer Truchot[1], Philippe Cabon[2], Catherine Delgoulet[2], and Antoine Tesnière[1]

Abstract

Background. **Postpartum hemorrhage** (PPH) is the leading cause of maternal death in the world. **Non-technical skills** (e.g. communication) are now recognized as a contributing factor to medical safety. In the field of simulation, **screen-based simulations** are currently very popular with computer/technological development. This study evaluates a screen-based simulation device, *PerinatSims*, developed to improve technical and non-technical skills in PPH situation. This experiment hypothesized that **exposure and repetition** of training with *PerinatSims* would **improve the self-assessment of non-technical skills**, and therefore increase the ability to manage PPH.

Methods. The primary endpoint was a self-assessment of non-technical skills during **simulation session of PPH on a digital simulator**. Twenty French midwives performed three of nine 25 minutes sessions of PPH screen-based simulation. Four self-assessment questionnaires were administered at the end of each simulation session: a leadership/team working questionnaire (**BAT**), a negative feelings/emotional questionnaire (**DASS-21**), a **Flow questionnaire** and a mental load questionnaire (**NASA-TLX**). Results between sessions were compared using a repeated measures ANOVA followed by a Bonferroni post hoc test.

[1]Ilumens, Université Paris Descartes, France
[2]LATI, Université Paris Descartes, France

Corresponding Author:
Jessy Barré, Ilumens, Université Paris Descartes, 45 Rue des Saints-Pères, 75006 Paris, France.
Email: jessy.barre@gmail.com

Results. The study showed a **positive evolution during the three screen-based simulation sessions**: an increase of leadership and team working self-assessment, an increase of Flow sense, and a decrease of negative emotions (anxiety and depression in the DASS-21 score). Significant decrease of stress was found only between the second and the third sessions, and significant differences in the NASA-TLX were observed only in two dimensions, Performance and Frustration.

Conclusion. A repeated exposure to PPH situations with a screen-based simulation tool improved the midwives' self-assessment, **especially for leadership, team working, emotion management and Flow sense**. Furthermore, midwives had a very positive feedback on the device. They highlighted the desire to use *PerinatSims* more often to be trained to PPH management, for technical as well as non-technical skills.

Keywords
education, human factors, medicine, non-technical skills, screen-based simulation, simulation

Introduction

Postpartum Hemorrhage (PPH) is the leading cause of maternal death, with more than 100,000 women dying each year in the world, mainly in developing countries (AbouZahr, 2003). In France, 85 women per year die from complications during pregnancy, delivery or after (10 maternal deaths per 100,000 births; INSERM report[1]). The leading cause is PPH, it is admitted that during the postpartum period 80% of the deaths could be avoided (Bouvier-Colle, 2007). The management of PPH is based mainly on procedure,[2] but many unexpected situations may occur (e.g. absence of a specialist during crucial minutes). Technical and procedural knowledge are insufficient, and they must be complemented with other dimensions such as organization and cooperation between professionals of different specialties and situation awareness.

Many medical errors are clearly related to insufficient mastery of Non-Technical Skills (NTS). The report *To Err Is Human* (Donaldson, Corrigan, & Kohn, 2000) underlines that shortcomings of teams' technical skills cannot explain the occurrence of incidents or accidents. Organizational and human factors are crucial to prevent maternal mortality. Communication imposed by the multidisciplinary aspect of this situation appears to be a critical factor in the proper management (Dreyfus, Beucher, Mignon, & Langer, 2004). Education, practical workshops and simulation can train practitioners to improve their skills and abilities to deal with PPH situations. In healthcare and medical professions, the non-technical skills such as communication, stress management, teamwork, and situation awareness must now be integrated in the curriculum and specific training modules (Cornthwaite, Edwards, & Siassakos, 2013; Fransen et al., 2012).

Table 1. Medical Definitions of Non-Technical Skills.

Situation awareness: "Developing and maintaining a dynamic awareness of the situation in theatre based on assembling data from environment" (Flin, Youngson, Paterson-Brown, Yule, & Maran, 2006).
Decision Making: "Skills for reaching a judgement to select a course of action or make a diagnosis about a situation, in both normal conditions and in time-pressured crisis situations" (Flin, Glavin, Maran, & Patey, 2003,).
Communication: "Quality and quantity of information exchanged among team members" (Hull, Arora, Kassab, Kneebone, & Sevdalis, 2011).
Teamwork: "Skills for working in a team context to ensure that the team has an acceptable shared picture of the situation and can complete tasks effectively" (Flin et al., 2006).
Leadership: "Leading the team and providing direction, demonstrating high standards of clinical practice and care, and being considerate about the needs of individual team members" (Flin et al., 2006).
Managing emotion/stress: "Acute stress is sudden, novel, intense and of relatively short duration, disrupts, goal-oriented behavior requires a proximate response" (Flin, O'Connor, & Crichton, 2008).

As an educational tool, simulation appears specifically as a "method that would allow training of medical personnel without involvement of a real living patient could improve functioning and, in the long run, would likely reduce errors, save lives" (Streufert, Satish, & Barach, 2001, p. 172). In the field of simulation training, feedback and debriefing are considered as determining factors for effective learning because it helps learners to develop a reflective approach that is conducive to the development of individual and collective professional skills (Fanning & Gaba, 2007). To reduce PPH mortality and morbidity, simulation is a validated learning tool associated with the improvement of technical and non-technical skills (INSERM report;Bantz, Dancer, Hodson-Carlton, & Van Hove, 2007; Maslovitz, Barkai, Lessing, Ziv, & Many, 2008).

NTS and Simulation: Origin and First Developments in Medicine

Non-technical skills are "cognitive, social and personal resources skills that complement technical skills and contribute to safe and efficient task performance" (Flin, O'Connor, & Crichton, 2008, p. 1). They have been categorized in seven skills: Situation awareness, Decision making, Communication, Teamwork, Leadership, Managing stress and Coping with fatigue (see Table 1).

The NTS framework found its roots in the Crew Resource Management (CRM) developed in aviation to improve safety, after many fatal accidents in the 70's, like the Tenerife accident (Wiener, 1980). The main objective of CRM is to evaluate/and improve the ability of practitioners to work with their co-workers (e.g. communication or leadership), to pay attention to the work environment (e.g. situation awareness) and to manage physiological or psychological states (e.g. stress or fatigue).

In the beginning of 1990, Gaba and his colleagues developed the concept of CRM in medicine (called Crisis Resource Management or ACRM). They developed a simulator in a real operation room to investigate decision making and human performance

during critical situations in anaesthesia (Gaba & DeAnda, 1988). This simulator helped improve technical skills but also NTS in the theater: "I stay calm in crises", "I focus on priorities", "I assume the role of team leader" (Holzman et al., 1995).

The healthcare sector has a long tradition of using simulation for training. In this field, simulation is defined as the "use of a device, such as a mannequin, a task trainer, virtual reality, or a standardized patient, to emulate a real device, patient, or patient care situation or environment to teach therapeutic and diagnostic procedures, processes, medical concepts, and decision making to a health care professional."[3] In obstetrics, some artefacts like the dolls of Angélique du Coudray or William Smellie were designed at the end of 18th century to teach delivery in order to reduce mortality (Dubois et al., 2004; King, 2007; O'dowd & Philipp, 2000). Since then, the use of mannequins has broadened in the 20th century (Cooper & Taqueti, 2004). However, even if mannequin-based simulation has many advantages, the cost of training on this type of equipment remains very high.

In parallel to these innovations, new technologies have recently emerged in medical simulation such as virtual environments (Ma, Jain, & Anderson, 2014). Software simulation (also called screen-based simulation or digital simulator), including virtual environments, were created and are used in many medical specialties such as resuscitation (Wattanasoontorn, Magdics, Boada, & Sbert, 2013) or emergency (e.g. road accidents, Jouffroy et al., 2016). Several advantages are generally cited to justify the development of digital simulators over High-Fidelity simulation: they replicate the global environment (e.g. war situation, Pasquier et al., 2016), they allow learners to train regularly and remotely which also improves motivation (de Ribaupierre et al., 2014; Garris, Ahlers, & Driskell, 2002), and finally they offer a more cost-effective solution, especially for healthcare professionals with poor access to high-end medical equipment (Taekman et al., 2017).

Many medical researches are conducted in the Second Life platform and focused on learning and/or the transmission of knowledge (e.g. McGrath et al., 2015; Stewart & Davis, 2012; Wiecha, Heyden, Sternthal, & Merialdi, 2010). In a recent study, screen-based simulation impacted positively the self-efficacy of medical students, the retention of knowledge and focus (Creutzfeldt, Hedman, Medin, Heinrichs, & Felländer-Tsai, 2010).

In the obstetrics field, independent software are designed, in particular with the expansion of computer technology (Barré et al., 2018), including virtual reality environment (e.g. Dit Gautier et al., 2016). However, the study of the impact of simulation in virtual environments have received little attention, especially in the critical situation of PPH.

Research Question

This paper presents a project, which aim is to improve non-technical skills of medical practitioners in postpartum hemorrhage. This study is a part of the MacCoy Critical project[4] (Models for Adaptative feedback enriChment and Orchestration based virtual realitY in Critical situations). This project aims at studying and improving training systems, designed for NTS development, through the use of simulation and virtual environments. A screen-based simulation *PerinatSims* was designed to manage

postpartum hemorrhage critical situations and offered a deliberate and repetitive practice that could improve and maintain practitioner's skills (Cannon-Diehl, 2009).

This experiment hypothesized that the repeated exposure to *PerinatSims* would positively influence the participants' self-assessment of non-technical skills for the management of PPH (via 4 questionnaires: BAT, Flow, DASS-21 and NASA-TLX); particularly leadership, team working and stress. Indeed, this repeated exposure would lead to an increase of the BAT scores (improved leadership and collaborative work, etc.) and the Flow scores (higher concentration, less stress, etc.), and also a decrease in the DASS scores (stress and anxiety reduction at each trial) and NASA-TLX scores (decrease of mental load with training).

Materials and Methods

Participants

Twenty midwives participated in an individual two-hour training session on the PPH digital simulator (*PerinatSims*). They were undergoing their last year of training in France or first year as a qualified professional, less than a year after graduation (women only, between 22 and 39 years old; Mean age of 24.05 $\pm$ 3.97 SD years). They had never used digital simulators during their curriculum and none of them had followed a training on NTS, CRM or Human Factors previously. Participants were all volunteers and received no financial remuneration for their participation. Recruitment was made from a mailing list of midwifery schools. The experimental design used in the present study was approved by the ethical committee of SFAR (Société Française d'Anesthésie et de Réanimation, N°IRB 00010254-2017-008) and the experimental data were collected with the approval and written consent of each participant.

Digital Simulator

The screen-based simulation *PerinatSims* has been designed by the Medusims company.[5] It reproduces the virtual environment in 3 dimensions of a delivery room during various PPH situations. Avatars in the virtual environment represent the parturient and the medical staff (nurse, gynecologist and anesthetist; see Figure 1). It is a first-person perspective, the midwife's view, and the navigation inside the digital simulator is a "point-and-click" type. The interface offers various actions, such as hygiene gestures, consultation of the patient's file or therapeutic actions (see Figure 1).

There are nine different scenarios developed on the basis of a compromise between what is plausible as an event external to the medical algorithm, based on opinions gathered from medical experts in obstetrics, midwifery, anesthesiology and human factors, and what is technically possible to implement in this type of virtual environment (given the constraints of computer experts). Each scenario differs depending on the patient's profile (e.g. age, number and type of delivery) and some specific medical or organizational events (e.g. the husband of the patient who knocks at the delivery room door during PPH; the anesthetist of the medical team who is busy and cannot help the midwife when called upon). Every scenario allows learners to test their ability to manage



Figure 1. *PerinatSims* software (screenshots). Above, different possible actions on the parturient: speak to the patient, observe the bleeding, etc. (left); avatars of team work (right). Bottom, a medical action is featured (uterine massage), with different graphic representations of possible actions (e.g. telephone, drugs administration).

PPH, and especially regarding NTS by integrating actions as phone calls to train communication skills, calibrated delivery drape verification to train with situation awareness or also drug administration according to time to train decision making.

Each exercise begins with an introduction about the medical case: e.g. *"Mrs Dinechin, 29 years old, has just given birth to her first child. She does not feel well in the birth room. Mrs. Dinechin has no history, no known allergy, no criteria for difficult intubation. She has her complete blood group card (AB +) and updated antiglobulin testing"*.

Through an educational approach, a debriefing on technical skills after each exercise is integrated into the software. A color code indicates the technical actions that were done well (green), the ones that could be improved (orange) and the ones that were not done / or poorly done (red).

Material

Four self-assessment questionnaires were selected in relation with the evaluation of non-technical skills.

Table 2. Example of a Rating Form of BAT.

3. Assumption and Leadership Role				
Fails to clearly identify himself/herself stands hack, takes a "hands off" approach; appears nervous, "rattled", uncomfortable; fails to inspire confidence.		*Identifies self after questioned; enters the situation and takes "hands on " approach when asked to; assumes leadership role but does not clearly coordinate activities of team.*	*Clearly identifies himself/herself as responsible for patient care; readily enters the situation, takes a "hands on" approach when necessary; coordinates activities of all team members; calmly inspires confidence in leadership.*	
Poor/Novice (0 points)	Partially/Acceptable (1 point)	Acceptable/Competent (2 points)	Above/Average (3 points)	Excellent/Expert (4 points)

The first one is the BAT (Behavioural Assessment Tool; Anderson & Warren, 2011; Le Flore, Anderson, Michael, Engle, & Anderson, 2007), designed as a leadership and collaborative teamwork questionnaire used in medical studies on specific and/or direct past situation. In the literature many surveys about leadership/followership topics are based on global management: "the senior leaders in my hospital listens to me and cares about my concerns", not usable in this study (Pronovost et al., 2003). Although BAT is traditionally used with a blinded expert on video evaluation, the ten stated dimensions are suitable for behaviors during PPH situations (e.g. connection is established between the team members as midwife, anesthetist, nurse or gynecologist; the algorithm was respected by each member of the team, the leader delegates tasks, etc.). Furthermore, BAT is based on Dreyfus model of skills acquisition to assess behaviors in simulation-based education (Anderson & Warren, 2011). It was therefore decided to use it as a self-assessment tool, the midwife evaluates her own performance after each exercise. The BAT includes 10 questions on leadership and team work (see Table 2), on a 5-point Likert scale, from Poor/Novice (0) at Excellent/Expert (4). The final result was calculated as the mean value of these 10 items (/5).

The Flow questionnaire was selected as the second self-assessment tool (Csikszentmihalyi, 1997; Ghani, 1995). Flow state is defined as an intense and focused concentration, or an involvement and absorption in an ongoing activity. If the level of challenge is mismatched with the current stage of development then either boredom or anxiety will result. In the medical field, Flow "could refer to the ease and fluidity with which an operation progresses" (Shouhed, Gewertz, Wiegmann, & Catchpole, 2012), and is reported to facilitate learning and encourage one to attempt a difficult task (Ahlborg, Hedman, Rasmussen, Felländer-Tsai, & Enochsson, 2012; Creutzfeldt et al., 2010). At last, Flow can be correlated with medical performance (Ahlborg, Hedman,

Nisell, Felländer-Tsai, & Enochsson, 2013). The Flow questionnaire includes 12 questions (e.g. *I had the skills to do this activity* or *I did not see the time pass*), on a 7-point Likert scale, from "Not agree at all" (1) to "Totally agree" (7). The final result is calculated as the mean value of these 12 items (/7).

Third, the NASA-TLX was selected to assess the perceived workload (Hart & Staveland, 1988) during a specific task. Many factors contribute to workload in medical situation, as risk, stress and unexpected events (like PPH situation), communication, fatigue / sleep deprivation or the ability to lead a team / delegate tasks (Leedal & Smith, 2005). An excessive workload can increase the risk of errors (Yurko, Scerbo, Prabhu, Acker, & Stefanidis, 2010) and lead to failures (Vincent, Taylor-Adams, & Stanhope, 1998). Even if NASA-TLX was initially developed in aviation, it appears to be a validated tool to assess workload perceptions in the medical CRM field (Young, Zavelina, & Hooper, 2008). The NASA-TLX include 6 questions/dimensions (e.g. Mental Demand; *How much mental and perceptual activity was required? Was the task easy or demanding, simple or complex?*), rated on a 100-points range for each dimension. Raw Task Load Index was used to analyze our results, without weighting phase (RTLX; Byers, Bittner, & Hill, 1989).

Finally, the DASS-21 version was selected to assess participants' emotions and stress (e.g. *I was worried about situations in which I might panic and make a fool of myself*). The DASS questionnaire evaluates emotion management according to three axes of stress, anxiety and depression (Lovibond & Lovibond, 1995). Traditionally used in clinical context, DASS are also used as self-report in professional/learning context, for example to evaluate communication performance when a novice is breaking bad news during a consultation (Brown et al., 2009). Twenty-one questions compose the score using a 4-point Likert scale, from 0, "Did not apply to me at all/Never", from 3, "Applied to me very much, or most of the time/Almost/Always". DASS final scores classification are as follows: *Normal, Mild, Moderate, Severe* and *Extremely severe*, on a 21-points scale in each axis.

In order to ensure the usability of the system, an evaluation was carried out by the means of the System Usability Scale questionnaire (SUS; Brooke, 1996). Its score is composed of ten-items with a Likert scale on the criteria of usability, in line with the ISO 9241 standard about Ergonomics of Human-Computer Interaction: e.g. *I think that I would like to use this system frequently; I thought the system was easy to use; I felt very confident using the system*. Bangor, Kortum, and Miller (2009) defined a categorization to evaluate the system from SUS global score with some adjectives: *Worst Imaginable, Horrible, Poor, OK, Good, Excellent*, and *Best Imaginable.*

Open-ended question was also added to the study to gather participants' perceptions of the major strengths and weaknesses of the simulator (*What are the major strengths and weaknesses of the simulator? and Did you learn anything*? *Please explain what*).

In addition, demographic information (gender, age, year of training, simulation experience) was collected to ensure consistency in the characteristics of the population studied.

The sessions were conducted in an experimentation room at *Ilumens Simulation lab* (Paris Descartes University) on a Desktop Computer (23-inch screen with 1920*1080 resolution).

Procedure

After a brief tutorial, each learner underwent a short practice session to navigate in the virtual environment of the delivery room, interact with the patient and perform some actions (e.g. to install the calibrated delivery drape, administering drugs, call colleagues). Then, learners began the two-hour simulation with three 25 minutes software sessions on three different scenarios. Scenarios were randomly distributed over the three sessions. After each exercise a computer debriefing on technical skills was included in the software. No information on NTS were included in this computer debriefing.

At the end of each screen-based simulation session, learners were asked to fill in the 4 self-assessment questionnaires: leadership questionnaire (BAT), the emotion/stress questionnaire (DASS-21), the Flow questionnaire and the NASA-TLX. Regarding the specific interest to NTS, participants were blinded to the endpoints of the experiment before and during the exercises. In addition, a demographic survey and the SUS questionnaire with open question were completed by the participants. Data were collected on paper and participants themselves completed the questionnaires.

Finally, in addition to the computer debriefing on technical skills after each exercise, a 10 minutes debriefing on non-technical skills was conducted by a senior physician face-to-face with each midwife at the end of the sessions. This last debriefing covered the three sessions and included the presentation of the NTS shown in the Table 1. Technical and non-technical debriefings were standardized: seven categories were integrated in the computer debriefing (e.g. Medical hygiene topics), and six categories in the skilled facilitator debriefing based on the Table 1. The debriefings, including the computer debriefing on technical skills, allowed midwives to capitalize their experience by a reflective practice on the events in the screen-based simulation sessions about feedback on actions/decisions, and to promote the multidisciplinary approach required for NTSs learning (e.g. importance of collaborative working, impact of leadership/followership, etc.; Fletcher et al., 2003; Flin et al., 2008; Hull, Arora, Kassab, Kneebone, & Sevdalis, 2011).

Data Analysis

Results from the four measurement scales were compared using a repeated measures ANOVA to analyze the data changes along the sessions, followed by a Bonferroni post hoc test, for a pairwise comparison. Data was analyzed with SPSS version 23 software (IBM, USA).

A thematic analysis of the open-ended question was used to identify and quantify participants' positive and negative views of the simulator.

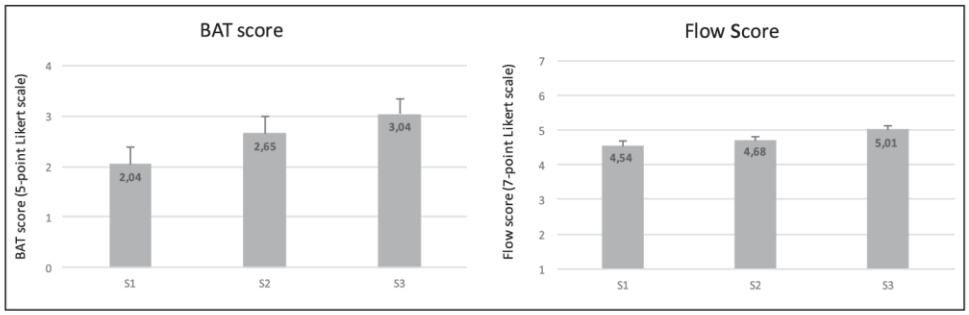


Figure 2. Results of BAT score (left) and Flow score (right) in each session (mean and standard error).

Results

This section presents the significant differences between sessions (noted [S1], [S2] and [S3] below), regarding BAT, Flow, DASS and NASA-TLX scores.

Concerning the **BAT score**, a difference of 1 point (on a 5-point Likert scale) was found between S1 (M = 2.04; SD = 0.66) and S3 (M = 3.04; SD = 0.59), with an intermediate result for the session two (M = 2.65; SD = 0.67; Figure 2). Self-evaluation changed from "Acceptable" performance to close to "Excellent" (see Table 2). Differences were significant between sessions (ANOVA, $F(2/38) = 50.209$, $P < .001$; Bonferroni post hoc, [S1/S2] $P < .001$, [S1/S3] $P < .001$, [S2/S3] $P < .05$). These results suggest that the participants perceived an improvement after each session concerning the leadership and the team working dimensions.

Similar results were observed with the **Flow score**. Participants rated a high score on the Flow scale, which increased after each session ([S1] M = 4.54; SD = 0.61 < [S2] M = 4.68; SD = 0.50 < [S3] M = 5.01; SD = 0.54; see Figure 2). Differences were significant between sessions (ANOVA, $F(2/38) = 8.048$, $P < .001$; Bonferroni post hoc, [S1/S2] NS $P = .835$, [S1/S3] $P < .05$, [S2/S3] $P < .05$). In accordance with the concept of Csikszentmihalyi (1997), the ratio between digital simulator challenge and personal skills appeared to be high. Participants were gradually in a Flow sense, intense and focused concentration and an involvement, and absorption in ongoing task achievement.

Self-assessment of **DASS** showed a stress score considered as "mild"[6] in the first and second session (M > 7; see Figure 3), and a stress score considered as "normal" in the third simulation session (M < 7). General differences between sessions were not significant, except between S2 and S3 (Bonferroni post hoc, $P < .05$). Concerning the anxiety score, a score considered as "mild" in S1 and S2 was found (M > 3), but a "normal" score was found in the last session (M < 3). Differences were significant between sessions (ANOVA, $F(2/38) = 12.599$, $P < .001$; Bonferroni post hoc, [S1/S2] NS $P = .063$, [S1/S3] $P < .05$, [S2/S3] $P < .05$). Finally, on the depression axis, a

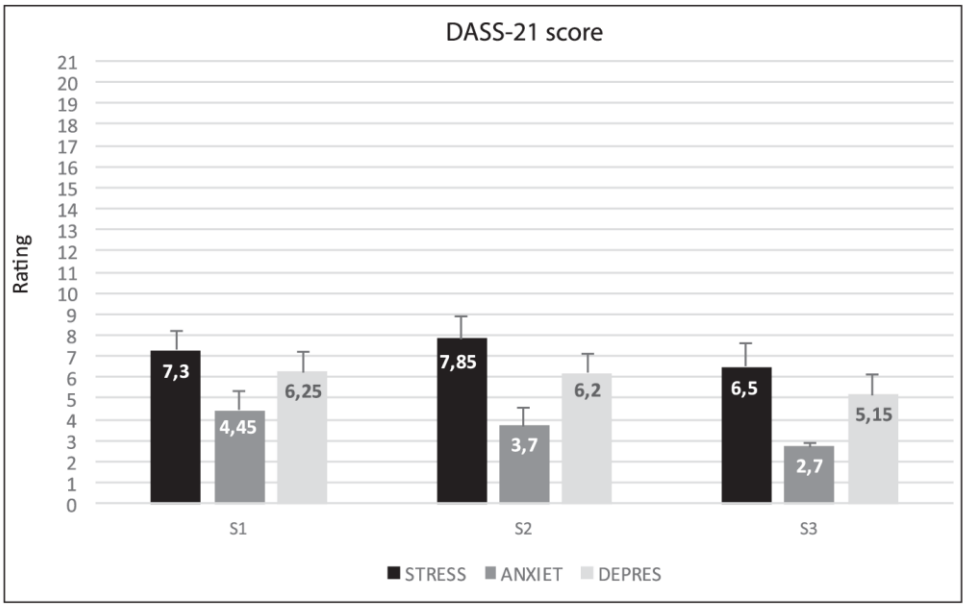


Figure 3. DASS-21 mean score and standard error in each simulation session (S1/S2/S3), in view of the three axes of DASS dimension (Stress/Anxiety/Depression).

"moderate" score was found in the first and second simulation ($M > 6$), and a score considered as "mild" was found in the last session ($M = 5.15$; $SD = 4.28$). General differences were significant between sessions (ANOVA, $F(2/38) = 3.238$, $P < .05$; Bonferroni post hoc, [S1/S2] NS $P = 1$, [S1/S3] NS $P = .219$, [S2/S3] NS $P = .060$). Although these scores are relatively low in view of DASS, simulation sessions can be considered as mildly to moderately stressful to the participants,[7] especially in the first and second simulation sessions. In the last session, stress, anxiety and depression scores decreased to a normal level.

Finally, concerning the **NASA-TLX**, mental load in the three sessions was high ($M > 50$; see Figure 4), but there were no significant differences between sessions (ANOVA, $F(2/38) = .822$, NS; Bonferroni post hoc, [S1/S2] NS $P = 1$, [S1/S3] $P = 1$, [S2/S3] $P = .397$). The mental load in the PPH screen-based simulation can be considered as important, but it remained stable despite the training sessions. Each dimension was analyzed below (see Figure 5).

High mean scores especially on the Mental demand ($M > 80$) and Effort dimensions ($M > 70$), were found without significant differences between sessions. Physical demand was the dimension assessed as the lowest ($M < 20$; indeed, the physical activities were quite low in the simulation). However, a slight increase in the last session on this scale was observed, certainly due to participants' fatigue after more than one hour of simulation, but the differences were not significant although close (ANOVA, $F(2/38) = 3.024$, $P = .060$). The same observation was described for the Temporal demand, which could be related to an increased fatigue. Concerning the Frustration

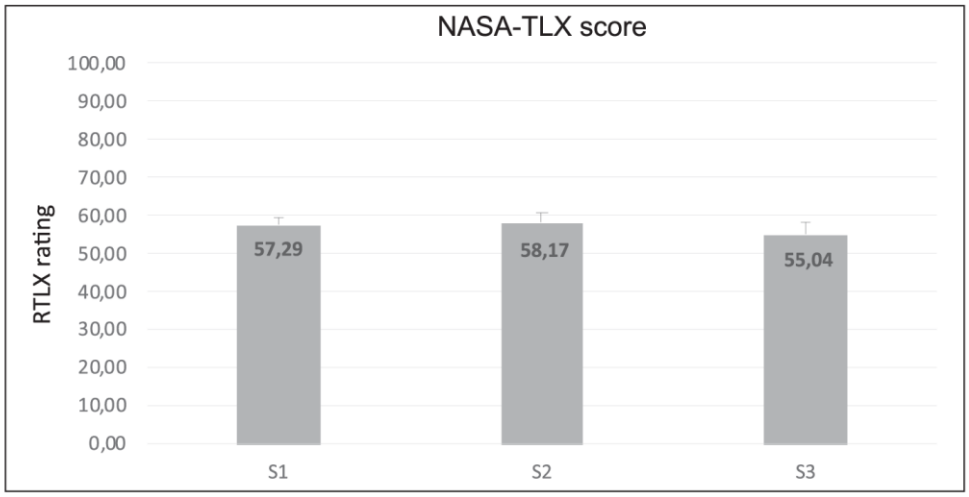


Figure 4. NASA-TLX results between session (RTLX mean score and standard error).

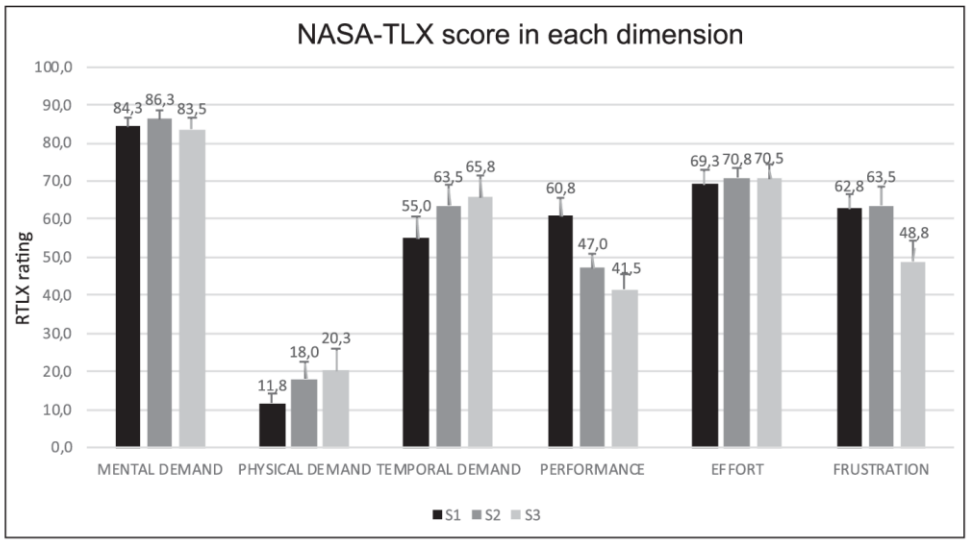


Figure 5. NASA-TLX results (RTLX mean score and standard error), in each dimension and session.

scale, a significant decrease between sessions was observed (ANOVA, $F(2/38) = 4.688$, $P < .05$), except between S1 and S2 (Bonferroni post hoc, [S1/S2] $P = 1$, [S1/S3] $P < .05$, [S2/S3] $P = .053$). The decrease of Frustration could be explained by an improved mastery of the software (e.g. understanding of icons/pictograms), but also a better management of the medical situation. Finally the scoring of the Performance scale showed a similar trend (ANOVA, $F(2/38) = 10.724$, $P < .001$), except between the session 2 and 3 (Bonferroni post hoc, [S1/S2] $P < .05$, [S1/S3] $P < .05$, [S2/S3] $P = .367$). This could be explained by a perception of a better control of PPH situation after each session, participants being more comfortable and confident.

Finally, participants filled the SUS open questionnaire on the software experience, to give a global and subjective view on the usability and interest in the *PerinatSims* software. A mean score of 78.25 points was obtained (min = 60; max = 100; SD = 9.49). It was considered as a "good" software (Bangor et al., 2009).

Concerning open question, the 20 midwives formulated 91 opinions on the simulator (M = 2.27, SD = 1.55). Of these opinions, the majority were positive (68/91; 74.7%). They highlighted the novelty of this tool compared to their traditional curriculum and the value of such a device for learning or training PPH management from repeated exposure of critical situations: "*training courses of PPH, with unknown situations*", "*useful for studying the algorithm*", "*good immersion / as in reality / realistic*", "*improve the management of PPH*", "*opportunity to train regularly / repeat actions*". Midwives also emphasized the benefits of perceived stress in situation: "*it helps to manage stress*" and "*to be more serene*". Nevertheless, they noted some negative elements concerning improvement of the software: "*the software requires some learning*", "[it] *does not give immediate feedback on my mistakes*", "[it allows] *only one action at a same time*", "*interaction with the other game avatars could be improved*" and "*the rhythm is a little bit different from reality (slower)*". Although improvements to the device would be worth implementing, participants perceived the virtual environment simulator experience to be largely beneficial for PPH training.

Discussion

In healthcare, previous research on virtual environments has shown that learning can be positively impacted by this kind of technology. Creutzfeldt et al. (2010) carried out measurements of self-efficacy, concentration, and mental strain in a cardiopulmonary resuscitation training for medical students in virtual environment. The authors found an increase of subjects' self-efficacy after the training. In another study, self-confidence was tested in a screen-based simulation (Taekman et al., 2017) and the results showed that subjects improved confidence in their ability to perform task. These findings are closed with those of Kanthan and Senger (2011), who evaluated satisfaction of student using digital games-based learning: better satisfaction and engagement, enhanced personal learning, and a lower stress perceived.

In this study a positive evolution during repeated exposure of *PerinatSims* simulator was observed with an increase of leadership and team working self-assessment, an increase of Flow sense, and a decrease of anxiety and depression dimensions of the DASS-21. Concerning stress dimension, a significant decrease was found only between the second and the third sessions. The decrease of negative emotions was in accordance with the heart rate measures realized in addition of self-rating. In NASA-TLX, significant decreases were found only in Performance (*How successful do you think you were in accomplishing the goals… How satisfied were you with your performance?)* and Frustration (*How insecure, discouraged, irritated, stressed and annoyed… did you feel during the task?*) dimensions, a better mastering of PPH situation is certainly the cause. Indeed, obstetric emergencies are stressful mainly in student midwives, and simulation reinforces confidence, improves communication and team

working and reduces stress (Hughes, Anderson, Patterson, & O'Prey, 2014; Norris, 2008; Scholes et al., 2012). Self-assessment results are concordant with spontaneous opinions of the participants. For example, one of them said in open question: "*I feel I have learned a lot. I have felt better as I went through the scenarios, more confident in my skills. It will improve my personal management of real situations*".

These positive effects on participants' self-assessment of NTS is an important outcome. In this virtual environment, midwives exposed to repeated unexpected critical situations could have created a sentiment of failure or stress, especially because midwives were confronted to different scenarios with different levels of difficulty (randomly distributed). On the contrary, it seemed to reinforce a positive perception towards their NTS over time.

Because of the particular learning situation, the screen-based simulation of PPH, and the relatively small sample of participants (n = 20), these results would need to be replicated and confirmed in other situations and/or with a larger cohort. However, statistical analysis showed significant differences in scores despite the small sample. These findings argue that screen-based simulation improves midwives' self-assessment in their ability to manage critical situations of PPH more effectively, particularly with regard to the NTS.

According to Weick and Sutcliffe (2011), these results suggest that these simulations, by developing the ability of practitioners to cope with the unexpected would be relevant for training. This skill is a fundamental feature of a resilient organization. Algorithms can be revised by practitioners (e.g. accuracy of blood loss estimation, role of each team members, timing of medicine administration, etc.) but also many unexpected situations included in the software (e.g. allergy, external events as the husband who knocks at the delivery room door, etc.) to help midwives to manage PPH.

However, the role of debriefing on learning is fundamental. Screen-based simulation can be considered as a support or vector because "learning comes from the debriefing, not from the game" (Crookall, 2010). Debriefing with learners cannot be separated from simulators (Fanning & Gaba, 2007; Gordon & Buckley, 2009). Same observations can be performed with High-Fidelity simulation: discussion on the training session is essential to capitalize knowledge and know-how (Barry Issenberg, McGaghie, Petrusa, Lee Gordon, & Scalese, 2005; Guillén-Nieto et al., 2012).

The study has some limitations. Self-assessment questionnaires used here evaluate indirectly NTS, and under this condition validity and reliability of each instrument must be studied and independently tested. For example, in Nakamura and Csikszentmihalyi (2002) the state of Flow was categorized by an "Intense and focused concentration", a "Merging of action and awareness" and a "Sense that one can control one's actions", and can be compared to Situation awareness and Decision making definitions of Table 1, but no study analyzed specifically the correlation between Flow and non-technical skills. In the future, further analyses will have to be carried out to confirm these results, for example by resorting to non-technical skills checklists (e.g. ANTS, Fletcher et al., 2003; OTAS, Hull et al., 2011) or by measuring effective learning scores (e.g. the changes during trials in the number and types of errors committed, the duration of the task performed). Positive correlations between self-assessment tools used in this study and NTS checklists or learning outcomes would be expected.

Finally, one last point seems important for future research: the retention of knowledge within a longitudinal approach, as repeated exposure to screen-based simulation is not sufficient to ensure knowledge appropriation and transfer. A new experiment could test skills and knowledge of midwives before practicing in the simulator, when using the screen-based solution *PerinatSims*, and after a delay of one month. This experimentation could also evaluate the retention of knowledge in a variety of critical situations unknown to participants. Although it is difficult to anticipate critical events, interviews with midwives who followed screen-based simulation and who later encounter a PPH case could be carried out to assess how the simulation impacted their professional performances.

Conclusion

PPH is an emergency situation considered as complex and critical. Technical skills are required to manage efficiently this situation (e.g. rapid identification; Marshall, Vanderhoeven, Eden, Segel, & Guise, 2015), non-technical skills are however also essential to prevent incidents or accidents especially in unforeseen situations (Cornthwaite et al., 2013; Donaldson et al., 2000; Fransen et al., 2012). Simulation and screen-based simulation offer several opportunities essential for enhanced learning (Cannon-Diehl, 2009; de Wit-Zuurendonk & Oei, 2011), due to the diversity of exercises with various scenario, level of difficulty and specific and timely feedback on learner's decision making (e.g. success, errors). It therefore allows the retention of knowledge, with the possibility of repetition mainly during initial training or deliberate practice (e.g. voluntary and distance learning; Ericsson, 2009).

Some authors suggest that digital simulators could be an effective training method in healthcare (de Wit-Zuurendonk & Oei, 2011), but screen-based simulation cannot replace traditional training. In order to be able to use the digital simulator, midwives must have completed their curriculum. The software then appears as a support tool during the initial training of midwives, or as a training tool throughout their career. A digital simulator cannot either replace the High-Fidelity training in regards with the multidisciplinary aspect. As already mentioned, High-Fidelity is a technique that is still not widespread: "[High-Fidelity simulation] is currently constrained by a number of factors including cost, the adequacy of facilities and equipment, and the availability of staff with the required expertise and experience in simulation" (Vermeulen et al., 2017). In France, many midwives in practice or even recently graduated, have never received High-Fidelity training. So, screen-based simulation is proving to be an interesting alternative for PPH teaching and training, by allowing several midwives to be trained simultaneously, promoting distance learning (initial and continuing), and can also be used in developing countries. This last point appears to be important as PPH is the most common type of obstetric hemorrhage and accounts for the majority of the 14 million cases that occur each year (World Health Organization, 2007; World Health Organization & United Nations International Children's Emergency Fund, 2012).

The next step will be to test if those training advantages are confirmed in real interaction, ensuring that it is not just a learning effect of the simulator. With this aim in mind, the midwifes could perform a PPH High-Fidelity simulation session after this

PerinatSims training. Another midwives group could perform only a PPH High-Fidelity simulation without *PerinatSims* training. An improvement of NTS self-assessment in the group *PerinatSims*/High-Fidelity simulation would be expected, compared to the control group.

Acknowledgments

The authors would like to thank *L'Agence Nationale de la Recherche*. This is a part of MacCoy Critical project (Models for Adaptative feedback enriChment and Orchestration based virtual realitY in Critical situations), N°ANR-14-CE24-0021 (https://maccoy.hds.utc.fr).

Declaration of Conflicting Interests

The authors declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Funding

The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

Notes

1. Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale : "Les morts maternelles en France : mieux comprendre pour mieux prévenir : 5e rapport de l'enquête nationale confidentielle sur les morts maternelles (ENCMM) 2010-2012". Available from: http://invs.santepubliquefrance.fr
2. Collège National des Gynécologues et Obstétriciens Français : http://www.cngof.fr/
3. H.R. 855 To amend the Public Health Service Act to authorize medical simulation enhancement programs, and for other purposes. 111th Congress, USA, 2009. Available from: gpo.gov/fdsys/pkg/BILLS-111hr855ih/pdf/BILLS-111hr855ih.pdf
4. N°ANR-14-CE24-0021: https://maccoy.hds.utc.fr
5. This present work is done as part of an ANR research project where Ilumens, LATI and Medusims are technical and scientific partners. These three partners are not bound by financial issues, but only by scientific issues related to NTS learning in virtual environment. Medusims' technical expertise has enabled the implementation, in the PPH virtual environment management system, of criticality elements for atypical care situations. This implementation was conducted according to the recommendations resulting from preliminary analyses by LATI and Ilumens researchers.
6. In coherence with Lovibond and Lovibond (1995). DASS final scores classification are as follows: Normal, Mild, Moderate, Severe and Extremely severe.
7. The heart rate monitor Polar M400 associated with the chest belt H7 (Polar Electro Oy, Finland) were also used in this study to measured beats per minute (bpm) of midwives during simulation sessions in addition of self-assessment questionnaires. Decrease of heart rate (HR_{mean}) was observed between each session: [S1] 94.99 $\pm$ 11.5 (bpm) $>$ [S2] 90.04 $\pm$ 13.26 (bpm) $>$ [S3] 85.41 $\pm$ 12.6 (bpm), in accordance to the results of DASS-21 ($P < .01$).

References

AbouZahr, C. (2003). Global burden of maternal death and disability. *British Medical Bulletin*, *67*(1), 1-11. doi:10.1093/bmb/ldg015

Ahlborg, L., Hedman, L., Nisell, H., Felländer-Tsai, L., & Enochsson, L. (2013). Simulator training and non-technical factors improve laparoscopic performance among OBGYN trainees. Acta *obstetricia et gynecologica Scandinavica*, *92*(10), 1194-1201. doi:10.1111/aogs.12218

Ahlborg, L., Hedman, L., Rasmussen, C., Felländer-Tsai, L., & Enochsson, L. (2012). Non-technical factors influence laparoscopic simulator performance among OBGYN residents. *Gynecological Surgery*, *9*(4), 415-420. doi:10.1007/s10397-012-0748-2

Anderson, J. M., & Warren, J. B. (2011). Using simulation to enhance the acquisition and retention of clinical skills in neonatology. *Seminars in Perinatology*, *35*(2), 59-67. doi:10.1053/j.semperi.2011.01.004

Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2009). Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale. *Journal of Usability Studies*, *4*(3), 114-123. doi:10.1.1.177.1240

Bantz, D., Dancer, M. M., Hodson-Carlton, K., & Van Hove, S. (2007). A daylong clinical laboratory: From gaming to high-fidelity simulators. *Nurse Educator*, *32*(6), 274-277. doi:10.1097/01.NNE.0000299476.57185.f3

Barré, J., Job, A., Michelet, D., Cabon, P., Delgoulet, C., & Tesnière, A. (2018). *La simulation obstétricale: du mannequin d'Angélique du Coudray aux Environnements Virtuels. Exemple d'un Simulateur numérique pour l'acquisition de Compétences Non-Techniques* [Simulation in Obstetrics: from Angélique du Coudray's doll to Virtual Environments. Example of a digital simulator for non-technical skills acquisition]. *SeGaMed* 2018, Faculté de Médecine de Nice. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Barre_Jessy/publication/322663119

Barry Issenberg, S., McGaghie, W. C., Petrusa, E. R., Lee Gordon, D., & Scalese, R. J. (2005). Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning: A BEME systematic review. *Medical Teacher*, *27*(1), 10-28. doi:10.1080/01421590500046924

Bouvier-Colle, M. H. (2007). Epidémiologie de la mortalité maternelle en France, fréquence et caractéristiques [Epidemiology of maternal mortality in France, frequency and characteristics]. *Réanimation*, *16*(5), 358-365. doi:10.1016/j.reaurg.2007.07.001

Brooke, J. (1996). SUS: A 'quick and dirty' usability scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, & I. L. McClelland (Eds.), *Usability evaluation in industry* (pp. 189-194). London, England: Taylor & Francis.

Brown, R., Dunn, S., Byrnes, K., Morris, R., Heinrich, P., & Shaw, J. (2009). Doctors' stress responses and poor communication performance in simulated bad-news consultations. *Academic Medicine*, *84*(11), 1595-1602. doi:10.1097/ACM.0b013e3181baf537

Byers, J. C., Bittner, A. C., Jr., & Hill, S. G. (1989). Traditional and raw Task Load Index (TLX) correlations: Are paired comparisons necessary? In A. Mital (Ed.), *Advances in industrial ergonomics and safety* (pp. 481-485). London, England: Taylor & Francis.

Cannon-Diehl, M. R. (2009). Simulation in healthcare and nursing: State of the science. *Critical Care Nursing Quarterly*, *32*(2), 128-136. doi:10.1097/CNQ.0b013e3181a27e0f

Cooper, J. B., & Taqueti, V. (2004). A brief history of the development of mannequin simulators for clinical education and training. *BMJ Quality & Safety*, *13*(Suppl. 1), i11-i18. doi:10.1136/qshc.2004.009886

Cornthwaite, K., Edwards, S., & Siassakos, D. (2013). Reducing risk in maternity by optimising teamwork and leadership: An evidence-based approach to save mothers and babies. *Best Practice & Research Clinical Obstetrics & Gynaecology*, *27*(4), 571-581. doi:10.1016/j.bpobgyn.2013.04.004

Creutzfeldt, J., Hedman, L., Medin, C., Heinrichs, W. L., & Felländer-Tsai, L. (2010). Exploring virtual worlds for scenario-based repeated team training of cardiopulmonary resuscitation in medical students. *Journal of Medical Internet Research*, *12*(3), e38. doi:10.2196/jmir.1426

Crookall, D. (2010). Serious games, debriefing, and simulation/gaming as a discipline. *Simulation & Gaming*, *41*(6), 898-920. doi:10.1177/1046878110390784

Csikszentmihalyi, M. (1997). *Finding flow: The psychology of engagement with everyday life*. New York, NY: Basic Books.

de Ribaupierre, S., Kapralos, B., Haji, F., Stroulia, E., Dubrowski, A., & Eagleson, R. (2014). Healthcare training enhancement through virtual reality and serious games. In M. Ma, L. C. Jain, & P. Anderson (Eds.), *Virtual, augmented reality and serious games for healthcare* 1 (pp. 9-27). Berlin, Heidelberg: Springer.

de Wit-Zuurendonk, L. D., & Oei, S. G. (2011). Serious gaming in women's health care. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, *118*(s3), 17-21. doi:10.1111/j.1471-0528.2011.03176.x

Dit Gautier, E. J., Bot-Robin, V., Libessart, A., Doucède, G., Cosson, M., & Rubod, C. (2016). Design of a serious game for handling obstetrical emergencies. *JMIR Serious Games*, *4*(2), e21. doi:10.2196/games.5526

Donaldson, M. S., Corrigan, J. M., & Kohn, L. T. (2000). *To err is human: Building a safer health system*. Washington, DC: National Academies Press. doi:10.17226/9728

Dreyfus, M., Beucher, G., Mignon, A., & Langer, B. (2004). Prise en charge obstétricale initiale en cas d'hémorragie du post-partum [Initial obstetrical management of post-partum hemorrhage]. *Journal de gynécologie obstétrique et biologie de la reproduction*, *33*(8), 57-64. doi:10.1016/S0368-2315(04)96647-1

Dubois, A., Gélis, J., Demoy, S., Petitcolas, J., Benozio, M., Beugnot, C., & Durier, C. (2004). *La "machine" de Madame Du Coudray ou l'art des accouchements au XVIIIe siècle* [The doll of Madame Du Coudray or the art of deliveries in the eighteenth century]. Rouen, France: Point de vues.

Ericsson, K. A. (2009). Enhancing the development of professional performance: Implications from the study of deliberate practice. In K. A. Ericsson (Ed.), *Development of professional expertise: Toward measurement of expert performance and design of optimal learning environments* (pp. 405-431). New York, NY: Cambridge University Press.

Fanning, R. M., & Gaba, D. M. (2007). The role of debriefing in simulation-based learning. *Simulation in Healthcare*, *2*(2), 115-125. doi:10.1097/SIH.0b013e3180315539

Fletcher, G., Flin, R., McGeorge, P., Glavin, R., Maran, N., & Patey, R. (2003). Anaesthetists' Non-Technical Skills (ANTS): Evaluation of a behavioural marker system. *British Journal of Anaesthesia*, *90*(5), 580-588. doi:10.1093/bja/aeg112

Flin, R., Glavin, R., Maran, N., & Patey, R. (2003). *Anaesthetists' Non-Technical Skills (ANTS) system handbook*. Aberdeen, UK: University of Aberdeen.

Flin, R., O'Connor, P., & Crichton, M. (2008). *Safety at the sharp end: A guide to non-technical skills*. Aldershot, UK: Ashgate Publishing.

Flin, R., Youngson, G., Paterson-Brown, S., Yule, S., & Maran, N. (2006). *The Non-Technical Skills for Surgeons (NOTSS) system handbook v1. 2*. Aberdeen, UK: University of Aberdeen.

Fransen, A. F., Van de Ven, J., Merién, A. E. R., de Wit-Zuurendonk, L. D., Houterman, S., Mol, B. W., & Oei, S. G. (2012). Effect of obstetric team training on team performance and medical technical skills: A randomised controlled trial. *BJOG: An International Journal of Obstetrics and Gynaecology*, *119*(11), 1387-1393. doi:10.1111/j.1471-0528.2012.03436.x

Gaba, D. M., & DeAnda, A. (1988). A comprehensive anesthesia simulation environment: Re-creating the operating room for research and training. *Anesthesiology*, *69*(3), 387-394.

Garris, R., Ahlers, R., & Driskell, J. E. (2002). Games, motivation, and learning: A research and practice model. *Simulation & Gaming*, *33*(4), 441-467. doi:10.1177/1046878102238607

Ghani, J. A. (1995). Flow in human computer interactions: Test of a model. In J. M. Carey (Ed.), *Human factors in information systems: Emerging theoretical bases* (pp. 291-311). Norwood, NJ: Ablex Publishing.

Gordon, C. J., & Buckley, T. (2009). The effect of high-fidelity simulation training on medical-surgical graduate nurses' perceived ability to respond to patient clinical emergencies. *The Journal of Continuing Education in Nursing*, *40*(11), 491-498. doi:10.3928/00220124-20091023-06

Guillén-Nieto, V., & Aleson-Carbonell, M. (2012). Serious games and learning effectiveness: The case of It's a Deal! *Computers & Education*, *58*(1), 435-448. doi:10.1016/j.compedu.2011.07.015

Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in Psychology*, *52*, 139-183. doi:10.1016/S0166-4115(08)62386-9

Holzman, R. S., Cooper, J. B., Gaba, D. M., Philip, J. H., Small, S. D., & Feinstem, D. (1995). Anesthesia crisis resource management: Real-life simulation training in operating room crises. *Journal of Clinical Anesthesia*, *7*(8), 675-687. doi:10.1016/0952-8180(95)00146-8

Hughes, C., Anderson, G., Patterson, D., & O'Prey, M. (2014). Introducing an obstetric emergency training strategy into a simulated environment. *British Journal of Midwifery*, *22*(3), 201-207. doi:10.12968/bjom.2014.22.3.201

Hull, L., Arora, S., Kassab, E., Kneebone, R., & Sevdalis, N. (2011). Observational teamwork assessment for surgery: Content validation and tool refinement. *Journal of the American College of Surgeons*, *212*(2), 234-243. doi:10.1016/j.jamcollsurg.2010.11.001

Jouffroy, R., Khélifi, G., Fontaine, M., Parlavecchio, J., Carli, P., & Vivien, B. (2016). *Apport de la simulation pour la prise en charge des urgences vitales* [Contribution of simulation for the management of emergencies]. Paris, France: Congrès de la SFAR. Retrieved from https://sofia.medicalistes.fr/spip/IMG/pdf/Apport_de_la_simulation_Benoit_VIVIEN_Paris_.pdf

Kanthan, R., & Senger, J. L. (2011). The impact of specially designed digital games-based learning in undergraduate pathology and medical education. *Archives of Pathology & Laboratory Medicine*, *135*(1), 135-142. Retrieved from http://www.archivesofpathology.org/doi/pdf/10.1043/2009-0698-OAR1.1

King, H. (2007). *Midwifery, obstetrics and the rise of gynaecology: The uses of a sixteenth-century compendium*. Aldershot, UK: Ashgate Publishing.

Leedal, J. M., & Smith, A. F. (2005). Methodological approaches to anaesthetists' workload in the operating theatre. *British Journal of Anaesthesia*, *94*(6), 702-709. doi:10.1093/bja/aei131

Le Flore, J. L., Anderson, M., Michael, J. L., Engle, W. D., & Anderson, J. (2007). Comparison of self-directed learning versus instructor-modeled learning during a simulated clinical experience. *Simulation in Healthcare*, *2*(3), 170-177. doi:10.1097/SIH.0b013e31812dfb46

Lovibond, S. H., & Lovibond, P. F. (1995). *Manual for the Depression Anxiety & Stress Scales*. Sydney, Australia: Psychology Foundation.

Ma, M., Jain, L. C., & Anderson, P. (2014). *Virtual, augmented reality and serious games for healthcare 1*. Berlin, Germany: Springer.

Marshall, N. E., Vanderhoeven, J., Eden, K. B., Segel, S. Y., & Guise, J. M. (2015). Impact of simulation and team training on postpartum hemorrhage management in non-academic centers. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, *28*(5), 495-499. doi:10.3109/14767058.2014.923393

Maslovitz, S., Barkai, G., Lessing, J. B., Ziv, A., & Many, A. (2008). Improved accuracy of postpartum blood loss estimation as assessed by simulation. *Acta obstetricia et gynecologica Scandinavica*, *87*(9), 929-934. doi:10.1080/00016340802317794

McGrath, J., Kman, N., Danforth, D., Bahner, D. P., Khandelwal, S., Martin, D. R., & Nelson, R. (2015). Virtual alternative to the oral examination for emergency medicine residents. *Western Journal of Emergency Medicine*, *16*(2), 336-343. doi:10.5811/westjem.2015.1.24344

Nakamura, J., & Csikszentmihalyi, M. (2002). The concept of flow. In C. R. Snyder & S. J. Lopez (Eds.), *Handbook of positive psychology* (pp. 89-105). New York, NY: Oxford University Press.

Norris, G. (2008). The midwifery curriculum: Introducing obstetric emergency simulation. *British Journal of Midwifery*, *16*(4), 232-235. doi:10.12968/bjom.2008.16.4.29047

O'dowd, M. J., & Philipp, E. E. (2000). *The history of obstetrics and gynaecology*. London, England: Taylor & Francis.

Pasquier, P., Mérat, S., Malgras, B., Petit, L., Queran, X., Bay, C., & Perez, J. P. (2016). A serious game for massive training and assessment of French soldiers involved in forward combat casualty care (3D-SC1): Development and deployment. *JMIR Serious Games*, *4*(1), e51-e10. doi:10.2196/games.5340

Pronovost, P. J., Weast, B., Holzmueller, C. G., Rosenstein, B. J., Kidwell, R. P., Haller, K. B., & Rubin, H. R. (2003). Evaluation of the culture of safety: Survey of clinicians and managers in an academic medical center. *BMJ Quality & Safety*, *12*(6), 405-410. doi:10.1136/qhc.12.6.480

Scholes, J., Endacott, R., Biro, M., Bulle, B., Cooper, S., Miles, M., & Jones, J. (2012). Clinical decision-making: Midwifery students' recognition of, and response to, post partum haemorrhage in the simulation environment. *BMC Pregnancy and Childbirth*, *12*, Article 19. doi:10.1186/1471-2393-12-19

Shouhed, D., Gewertz, B., Wiegmann, D., & Catchpole, K. (2012). Integrating human factors research and surgery: A review. *Archives of Surgery*, *147*(12), 1141-1146. doi:10.1001/jamasurg.2013.596

Stewart, S., & Davis, D. (2012). On the MUVE or in decline: Reflecting on the sustainability of the Virtual Birth Centre developed in Second Life. *Australasian Journal of Educational Technology*, *28*(3), 480-503. doi:10.14742/ajet.846

Streufert, S., Satish, U., & Barach, P. (2001). Improving medical care: The use of simulation technology. *Simulation & Gaming*, *32*(2), 164-174. doi:10.1177/104687810103200205

Taekman, J. M., Foureman, M. F., Bulamba, F., Steele, M., Comstock, E., Kintu, A., & Olufolabi, A. (2017). A novel multiplayer screen-based simulation experience for African learners improved confidence in management of postpartum hemorrhage. *Frontiers in Public Health*, *5*, Article 248. doi:10.3389/fpubh.2017.00248

Vermeulen, J., Beeckman, K., Turcksin, R., Van Winkel, L., Gucciardo, L., Laubach, M., & Swinnen, E. (2017). The experiences of last-year student midwives with High-Fidelity

Perinatal Simulation training: A qualitative descriptive study. *Women and Birth*, *30*(3), 253-261. doi:10.1016/j.wombi.2017.02.014

Vincent, C., Taylor-Adams, S., & Stanhope, N. (1998). Framework for analysing risk and safety in clinical medicine. *British Medical Journal*, *316*(7138), 1154-1157.

Wattanasoontorn, V., Magdics, M., Boada, I., & Sbert, M. (2013). A kinect-based system for cardiopulmonary resuscitation simulation: A pilot study. In M. Ma, M. Fradinho Oliveira, A. Sobah, & J. Baalsrud Hauge (Eds.), *Serious games development and applications* (pp. 51-63). Berlin, Heidelberg: Springer. doi:10.1007/978-3-642-40790-1_5

Weick, K., & Sutcliffe, K. M. (2011). *Managing the unexpected: Resilient performance in an age of uncertainty* (2nd ed.). San Francisco, CA: John Wiley & Sons.

Wiecha, J., Heyden, R., Sternthal, E., & Merialdi, M. (2010). Learning in a virtual world: Experience with using second life for medical education. *Journal of Medical Internet Research*, *12*(1), e11-e27. doi:10.2196/jmir.1337

Wiener, E. L. (1980). Midair collisions: The accidents, the systems, and the realpolitik. *Human Factors*, *22*(5), 521-533. doi:10.1177/001872088002200502

World Health Organization. (2007). Reducing the global burden: Postpartum haemorrhage. *Making Pregnancy Safer*, *4*, 1-8. Retrieved from http://www.who.int/maternal_child_adolescent/documents/newsletter/mps_newsletter_issue4.pdf

World Health Organization & United Nations International Children's Emergency Fund. (2012). *Countdown to 2015. Maternal, Newborn & Child Survival. Building a future for women and children*. Retrieved from http://www.countdown2015mnch.org/documents/2012Report/2012-Complete.pdf

Young, G., Zavelina, L., & Hooper, V. (2008). Assessment of workload using NASA Task Load Index in perianesthesia nursing. *Journal of PeriAnesthesia Nursing*, *23*(2), 102-110. doi:10.1016/j.jopan.2008.01.008

Yurko, Y. Y., Scerbo, M. W., Prabhu, A. S., Acker, C. E., & Stefanidis, D. (2010). Higher mental workload is associated with poorer laparoscopic performance as measured by the NASA-TLX tool. *Simulation in Healthcare*, *5*(5), 267-271. doi:10.1097/SIH.0b013e3181e3f329

Author Biographies

Jessy Barré is a postdoctoral researcher in Human Factors and Ergonomics. He is currently working in Ilumens Simulation Lab of Paris Descartes University (France). His research interest includes prospective ergonomics, innovation and virtual environment.

Contact: jessy.barre@gmail.com.

Daphné Michelet is a Medical Doctor in anaesthesia and a PhD student at Paris Descartes University and the Center for Research and Interdisciplinarity (CRI) in Paris. Her thesis topic is the benefit of virtual environment on medical training.

Contact: daphne.michelet@aphp.fr.

Anais Job is PhD student in Ergonomics at LATI lab (Paris Descartes University). Her thesis topic is about Human factors and Non-technical skills in emergency medicine, as PPH situation.

Contact: anais.job@ilumens.org.

Jennifer Truchot is a Medical Doctor in Emergency Medicine and a PhD student at Paris Descartes University and the Center for Research and Interdisciplinarity (CRI) in Paris.

Contact: jennifer.truchot@aphp.fr.

Philippe Cabon is associate professor in Human Factors and Ergonomics at LATI lab (Paris Descartes University). His research interests include: Fatigue and Safety and Resilience Engineering; Workload and stress.

Contact: philippe.cabon@parisdescartes.fr.

Catherine Delgoulet is associate professor in Human Factors and Ergonomics at LATI lab (Paris Descartes University). Her research interest includes aging at work; learning activity; professional training; work analysis.

Contact: catherine.delgoulet@parisdescartes.fr.

Antoine Tesnière MD, PhD is professor of Anesthesia and Intensive Care at European Georges Pompidou Hospital, and Vice dean at Paris Descartes Medical School. He is the co-founder and Director of Ilumens Simulation Lab (Sorbonne Paris Cité).

Contact: antoine.tesniere@ilumens.org.

b) Synthèse

Cette expérimentation a mis en évidence, suite à l'entraînement par plusieurs scénarii successifs de Perinatsims, une augmentation du sentiment de « leadership » et de travail collaboratif, d'investissement dans l'activité (Flow) et une baisse d'anxiété et de stress dans la prise en charge de l'hémorragie du post-partum simulée en autoévaluation par les apprenants.

Ces résultats sont en accord la littérature. En effet, une étude avait déjà mis en évidence une satisfaction importante des apprenants après formation par simulation numérique ainsi qu'une augmentation de l'auto-efficacité (152). Une autre étude a montré une augmentation de la performance des étudiants à un examen après formation par simulation numérique et une satisfaction importante des apprenants, moins de stress et plus d'engagement (153).

L'effet positif de cet entraînement par simulation numérique à une situation critique et inattendue est important. Les apprenants auraient pu se trouver en situation de stress ou d'échec car ils étaient étudiants et seuls devant l'environnement virtuel. Au contraire, la simulation semble avoir renforcé leur sentiment de maîtrise de la situation, leur engagement et diminuer leurs émotions « négatives ».

Ceci semble donc confirmer les résultats de Weick and Sutcliffe (154), suggérant que ce type de simulation est intéressant pour la formation permettant de réviser les algorithmes mais également de se confronter à différentes situations inattendues, de multiples situations d'hémorragie du post-partum avec différents événements intercurrents qui sont susceptibles de s'ajouter, comme dans le monde réel.

Cette première expérimentation offre donc des perspectives intéressantes pour la simulation numérique. Les suivantes vont nous permettre d'affiner ces données.

2. Hypothèse 2 (Article 2: Benefits of Screen-Based Postpartum Hemorrhage Simulation on Nontechnical Skills Training, A Randomized Simulation Study. Simulation in Healthcare, 2019.)

a) Introduction

Afin d'approfondir les connaissances dans le domaine des compétences non-techniques et de la simulation numérique, nous avons poursuivi avec une seconde expérimentation basée sur une hétéro-évaluation (ou évaluation experte) des CNT afin de rechercher un bénéfice en termes de comportement/transfert et non plus seulement d'autoévaluation.

Pour cette deuxième expérimentation, nous avons développé de nouveaux scénarii du simulateur numérique Perinatsims dont l'objectif initial est l'entraînement des sages-femmes à la gestion de l'hémorragie du post-partum. L'objectif de ces nouveaux scénarii était de mobiliser plus particulièrement les compétences non-techniques en ajoutant un élément de criticité au scénario de base d'hémorragie du post-partum. Les éléments de criticité étaient de deux natures : médicaux (allergie, désaturation ou hypothermie) ou environnementaux (père qui frappe à la porte, équipe occupée sur une césarienne, anesthésiste qui n'arrive pas).

L'hypothèse formulée était que l'entraînement par des scénarii spécifiques associé à un débriefing des CNT permettait une meilleure performance des apprenants lors d'une évaluation ultérieure des CNT en simulation haute-fidélité. Il s'agit d'une étude randomisée, contrôlée en aveugle. L'hétéro-évaluation des CNT était basée sur le score ANTS (Anesthetist' Non-Technical Skills). Nous avons également analysé les verbalisations durant la simulation haute-fidélité. Vingt-quatre étudiants sages-femmes ou jeunes diplômés ont participé à l'étude, randomisés en deux groupes, scénarii CNT et débriefing associé ou scénarii basiques et débriefing classique.

Benefits of Screen-Based Postpartum Hemorrhage Simulation on Nontechnical Skills Training

A Randomized Simulation Study

Daphné Michelet, MD;
Jessy Barré, PhD;
Anais Job, MD;
Jennifer Truchot, MD;
Philippe Cabon, PhD;
Catherine Delgoulet, PhD;
Antoine Tesnière, PhD

Background: Postpartum hemorrhage (PPH) is the leading cause of maternal death in the world. Nontechnical skills (NTS), such as communication and teamwork, are critical for efficient management of this obstetric emergency. Specific scenarios were designed on a screen-based simulator to train NTS. This study aimed to evaluate the impact of training midwives for NTS with a PPH screen-based simulation.
Methods: A total of 24 midwives participated in the study. They were randomized in 2 groups: the NTS group (n = 12) performed 3 screen-based scenarios designed to train NTS and the control group (n = 12) performed 3 basic scenarios of the screen-based simulation without the NTS training. A structured interview followed the simulation. On the same day, each trainee underwent individually an evaluation on a PPH high-fidelity simulation scenario. Three experts, blinded to the study arm, assessed the NTS with the Anesthetists Non-Technical Skills (ANTS) score.
Results: Midwives from the NTS group achieved higher median scores in each dimension of the ANTS score: task management (4 vs. 2/4, $P < 0.0001$), team working (4 vs. 2/4, $P < 0.0001$), situation awareness (4 vs. 2.7/4, $P < 0.0001$), and decision-making (4 vs. 2/4, $P < 0.0001$). The median value of the total ANTS score was higher in the NTS group than in the control group (15.5 vs. 8/16, $P < 0.0001$).
Conclusions: Our study highlights that training with a NTS screen-based simulation, with specific scenarios and debriefing, leads to higher midwives' nontechnical skills performance during simulated postpartum hemorrhage.
(*Sim Healthcare* 14:391–397, 2019)

Key Words: Screen-based simulation training, education, nontechnical skills, postpartum hemorrhage.

Downloaded from http://journals.lww.com/simulationinhealthcare by BhDMf5ePHKbH4TTImqenWjHcKSwnnSo7Ml5+eNyTGF7xNX5RFHs3Kj4dpMeA on 12/06/2019

Postpartum hemorrhage (PPH) is defined as a postpartum blood loss 500 mL or greater (severe PPH if the blood loss ≥1000 mL), within 24 hours after childbirth (up to 6 weeks) due to, for example, poor contraction of the uterus, uterine laceration, or poor blood clotting.[1–4] In France, there are nearly 800,000 births per year, 80 of which result in maternal death. Postpartum hemorrhage is the leading cause with 10 deaths annually.[5] Rapid recognition of PPH[6,7] but also organizational and human factors, such as communication, stress management, teamwork, and situation awareness, are important elements to consider for optimal management.[8] These "nontechnical" skills (NTS) contribute to improved performances and enhanced patient safety.[9] Nontechnical skills, though intrinsic to each individual, can be improved with practice through education, practical workshops, or simulations.[10] In healthcare, among simulation devices, computer-based technologies have become increasingly prevalent. Screen-based simulation is defined as "a simulation presented on a computer screen using graphical images and text, similar to popular gaming formats, where the operator interacts with the interface using keyboard, mouse, joystick, or other input device." The programs provide feedback and track the actions of the learners for assessment without the need for an instructor.[11] These simulators show many advantages: they are autonomous (no need for an instructor), transportable (a software on a computer), and more affordable than high-fidelity simulation.[12,13] More immersive simulators, such as virtual reality, are also available, but they are associated with adverse effects, such as motion sickness. Interest in virtual environments (immersive or not) is illustrated by the great variety of screen-based simulations or serious games available for medical education[14] and the growing number of publications assessing their pedagogical benefit.[15,16]

In the field of obstetrics, simulation has been used to train and acquire technical and nontechnical skills for specific obstetric emergencies, such as shoulder dystocia, postpartum hemorrhage, eclampsia, and cord prolapse.[17,18]

The objective of this study was to evaluate whether a screen-based simulation specifically designed to train midwifes

From the Ilumens Platform of Medical Simulation (D.M., J.B., A.J., J.T., A.T.), Paris Descartes University; Department of Anesthesia and Intensive Care (D.M.), Robert Debré Hospital, Paris; LATI Laboratory (A.J., P.C., C.D.), Paris Descartes University, Boulogne; Emergency Department (J.T.), Lariboisière Hospital; and Department of Anesthesia and Intensive Care (A.T.), Georges Pompidou European Hospital, Paris, France.

Reprints: Daphné Michelet, MD, Ilumens, 45 rue des Saints Pères 75006 Paris, Department of Anesthesia, Hospital Robert Debré Hospital, 48 bd Sérurier, 75019 Paris (e-mail: daphne.michelet@aphp.fr); Department of Simulation Ilumens, Paris Descartes University, 45 rue des Saints Pères 75006 Paris, France (e-mail: contact@ilumens.org).

The authors declare no conflict of interest.

Supplemental digital content is available for this article. Direct URL citations appear in the printed text and are provided in the HTML and PDF versions of this article on the journal's Web site (www.simulationinhealthcare.com).

Copyright © 2019 Society for Simulation in Healthcare
DOI: 10.1097/SIH.0000000000000395

Copyright © 2019 by the Society for Simulation in Healthcare. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

for nontechnical skills during PPH led to a better performance regarding NTS than the basic screen-based simulation (without NTS training). Positive results could strengthen the benefit of screen-based simulations to acquire and train nontechnical skills in the context of medical emergencies.

MATERIAL AND METHODS

This randomized controlled simulation study was performed from November 2017 to June 2018 at Ilumens, a platform of medical simulation in Paris Descartes University. It was approved by the CERAR (French ethics committee for research in anesthesia and critical care). All participants signed an informed written consent. The study was registered on clinical trial. It was part of the MacCoy Critical ANR (national research agency) project (Models for Adaptative feedback enriChment and Orchestration based virtual realitY in Critical situations).

Participants

Volunteer participants were recruited from classes of midwifery school from Paris (fifth year) or during their first year of professional activity. All of them received the same courses on PPH management during their academic training. They had limited experience with clinical management of PPH at the time of the simulation sessions. None of the participants had any previous experience of NTS training, high-fidelity simulation, or screen-based simulation. No sample size calculation was performed for this research; a convenience sample was used.

Screen-Based Simulation: Design and Scenarios

The screen-based simulation *PerinatSims* (Developed by Medusims, partner of the ANR project) used for the experiment was a point-and-click screen-based simulation with a first-person view, including several scenarios on the management of a postpartum hemorrhage.[19] The player embodied a midwife evolving in the virtual environment of a birth room. The midwife started in the virtual room with a nurse avatar but without interacting. During the PPH management, she had the possibility to call an obstetrician and anesthetist for help. The midwife could also interact with the mother through dialog boxes and actions were proposed after a mouse click on the parturient (Fig. 1). In addition, a toolbar with graphic representation was available in the software to apply specific interaction (eg, drug administration, blood bank call, patient file, etc). The software scenarios were based on the expertise of a committee of French medical experts (obstetricians, midwives, anesthetists, and human factors/ergonomics researchers) from Cochin, Versailles, Poissy, or Robert Debré Hospitals and Paris Descartes University. The screen-based simulation used in our experimentation included 2 categories of scenarios, with or without additional event requiring specific NTS (leadership, situation awareness, decision-making, and emotion/stress management[19,20]). At the end of each exercise, an automated feedback focusing on the technical skills of the PPH algorithm management was offered to the learner.

Design

Each participant was exposed individually to 3 scenarios of PPH management. Before the beginning of the simulation, one of the researchers presented the device with a systematic briefing. The participants then had 10 minutes to test and explore the virtual environment. After each scenario/exercise, participants received an in-game automated feedback regarding their technical actions (according to the French National Societies of Anesthesiology and Obstetric Guidelines) with a color code: green (well-performed action), orange (partially performed action), and red (absent or wrong action). The participants were randomly divided in 2 groups (http://www.randomization.com/): basic scenarios followed by a verbal postsimulation structured interview on their technical performance (named control group)[1] and NTS scenarios followed by a verbal postsimulation structured interview on their technical performances and the NTS (named NTS group).[2] To maintain comparability between groups, the postsimulation interview was standardized and lasted 5 to 10 minutes. Laminated interview sheets were used to further assure standardization (see Supplemental Digital Content 1, which contains the 2 laminated sheets, http://links.lww.com/SIH/A461). For the control group, the sheet contained the PPH management algorithm from the French societies guidelines. For the NTS group, the sheet contained a table



FIGURE 1. Screenshot of interface and virtual environment. Down, toolbar with graphic representations. From left to right: parturient interaction, hygiene gestures, medical devices and equipment, phone call, drug administration, laboratory analysis, orientation, patient files, time, and exit/end (page 5).

Copyright © 2019 by the Society for Simulation in Healthcare. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

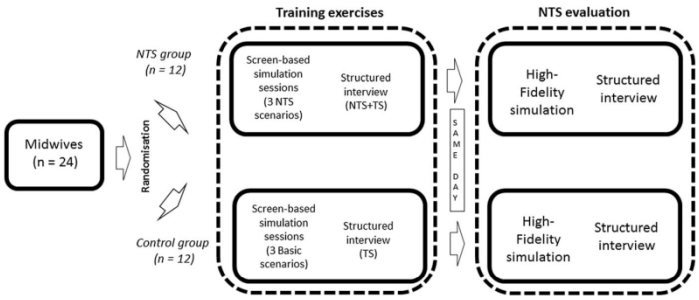


FIGURE 2. Experimentation design (page 7).

introducing the 4 categories of the Anaesthesia Non-Technical Skills (ANTS[21]) framework with subcategories (situation awareness, task management, team working, and decision-making[22]). No specific NTS classification existed for the management of PPH by midwives. Most of the medical NTS classification include similar NTS, and we chose the ANTS classification because it is extensively used in the operative room[23,24] and obstetric fields.[25,26] The screen-based simulation sessions were performed in an experimentation room at Ilumens Simulation laboratory (Paris Descartes University) on a Desktop Computer (23-inch screen with 1920 × 1080 resolution).

On the same day, all participants individually performed a high-fidelity simulation session on a case of PPH (Fig. 2). During the scenario, 2 confederates were present to interact with the participant, a nurse, and an obstetrician. An anesthetist was available via telephone. The high-fidelity manikin NOELLE S554.100 (Gaumard) and the dedicated UNI software (2.38.2.0 Version) were used (see Supplemental Digital Content 2, http://links.lww.com/SIH/A462, which contains the high-fidelity scenario). The sessions were recorded with the help of the SimView software (Laerdal, Norway) using 3 dome cameras and 1 microphone (Axis Communication, Sweden). Before the beginning of the simulation, a briefing on the environment including the manikin, the material, and the possible actions (call for help, intravenous line insertion…) was provided to the participants.

Primary Endpoint: ANTS Scores

Three independent raters (an anesthetist and 2 human factors experts specialized in health sciences) performed the NTS assessment. They were all simulation instructors and had followed a specific training in ANTS scoring. The training consisted of visualization and assessment of at least 50 videos of high-fidelity PPH simulation with midwives before this study started. They were blinded to the allocated group since the analysis took place after the study using video recording of the sessions. The ANTS observation system was used to assess the NTS in various simulation situations and population, ranging from emergencies for medical students[27] to neonatal resuscitation for midwives (with a specific modified ANTS version,[25]). The measurement properties of the ANTS score has been extensively investigated.[28] The ANTS scores were recorded as overall categories ranging from 1 to 4 (poor performance[1] to good performance[4]) as described by the authors of the ANTS. Interrater reliability calculations were performed.

Secondary Endpoint: Analysis of the Number of Verbal Exchanges During High-Fidelity Simulation

To analyze the effect of the screen-based simulator on communication skills (included in teamwork skills), 2 blinded raters (both students in ergonomics, trained in verbalization analysis) viewed high-fidelity simulation videos to measure the number of verbal exchanges between the midwife and her colleagues, but also with the patient. The analysis was quantitative with raters counting the number of sentences and words.

Statistical Analysis

Data are presented as median (interquartile range [IQR]) for continuous data given the nonnormal distribution of data (small sample). Agreement between raters for ANTS was evaluated for each category using percent agreement and corresponding Fleiss κ coefficient (interrater agreement). Values of κ can range from 0 (or less) to 1. Landis and Koch (1977) gave a table for interpreting the κ values. The $\kappa = 1$ was a complete agreement among raters, whereas the $\kappa = 0$ illustrates a poor agreement. Calculation of interrater reliability between experts was performed by an online κ calculator.[29] Statistical analyses were performed with the mean values obtained from the 3 raters. Comparison between NTS group and control group regarding the NTS performance was performed using the Mann-Whitney *U* test for independent samples, completed by an effect size calculation using a Pearson correlation test. All tests were two-tailed, and statistical significance was considered for $P < 0.05$. Statistical analyses were performed using SPSS 25.0 software (IBM Company).

RESULTS

Twenty-four participants (Fig. 3) were included in the study, 12 were randomly assigned to the control group and 12 to the NTS group. They were students in midwifery in their last year of training in France (fifth year) or first year of professional activity. All participants were women. The median age was 25 (22–39) years.

Primary Endpoint: ANTS Scores

The median (IQR) value of the ANTS score was higher in the NTS group than the control group [15.5, IQR (13.25–16) vs. 8 (7.4–9.7), $P < 0.0001$] (Fig. 4). The detailed analysis for each ANTS category shows that the NTS group had higher ANTS scores in each category when compared with the control group (Table 1). The *r* value of the global ANTS score was 0.9, highlighting a large effect size.

Copyright © 2019 by the Society for Simulation in Healthcare. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

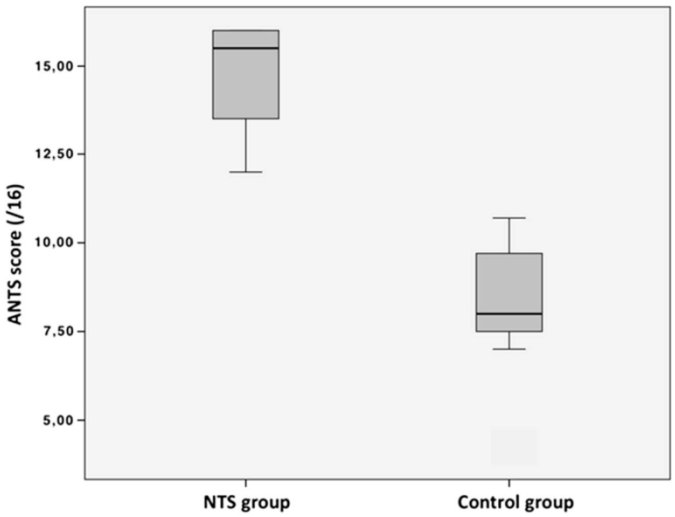


FIGURE 3. Consort flow diagram of the study (page 9).

Interrater Agreement

Raters assessed each ANTS category on a 4-point scale. The overall agreement was 90.3% in average with a corresponding average Fleiss κ was 0.87, indicating an almost perfect agreement (Table 2).

Secondary Endpoint: Analysis of the Number of Verbal Exchanges During High-Fidelity Simulation

During the high-fidelity simulation session, there were more verbal exchanges between participants and colleagues (obstetrician and nurses/facilitators) in the NTS group than in the control group [37 (31.25–50.5) sentences vs. 25.5 (22–33.25) sentences, $U = 28.5$, $P < 0.01$, $r = 0.51$], whereas the number of communication between midwife and patient was similar for both groups [16 (13.25–18.75) sentences vs. 15.5 (12–21) sentences, $U = 65$, NS, $r = 0.07$]. Concerning all verbalizations (with colleagues and parturient), significant differences were found between groups: midwives of the NTS group generated more sentences/communication [55 (48.25–66.5) sentences vs. 41.5 (30.5–52.75) sentences, $U = 32$, $P < 0.05$, $r = 0.45$].

DISCUSSION

The main finding of this study is that training on a screen-based simulation, with dedicated NTS scenarios and followed

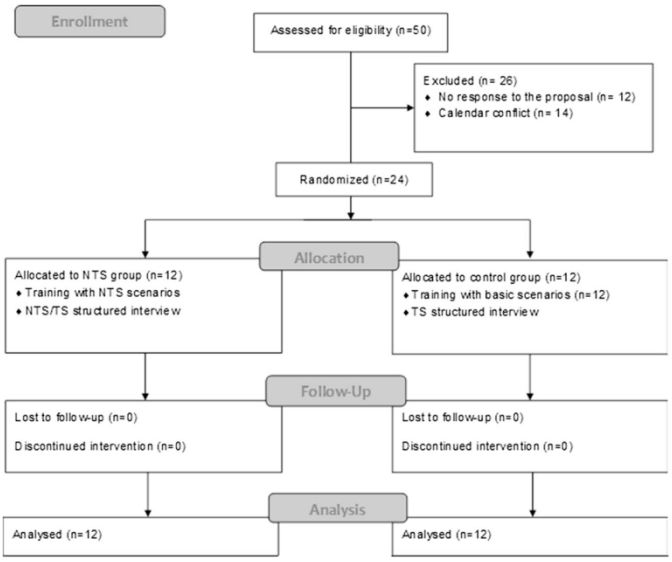


FIGURE 4. Box plot comparing ANTS scores between NTS group and control group (min-max, median, Q1, Q3) (page 9).

Copyright © 2019 by the Society for Simulation in Healthcare. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

TABLE 1. Comparison of NTS Scores of NTS Group and Control Group During High-Fidelity Simulation (IQR, Median)

		NTS Group (n = 12)		Control Group (n = 12)		U^*	P^*	$r\dagger$
Checklist	Categories	Median Score	IQR	Median Score	IQR			
ANTS	Task management	4	(3.08–4)	2	(2–2.59)	1.5	0.0001	0.86
	Team working	4	(3.03–4)	2	(1.36–2.19)	0	0.0001	0.88
	Situation awareness	4	(3.41–4)	2.7	(2–3)	5	0.0001	0.78
	Decision-making	4	(3.67–4)	2	(2–2)	1	0.0001	0.89
	Total (/16)	15.5	(13.25–16)	8	(7.4–9.7)	0	0.0001	0.90

* Mann-Whitney nonparametric test.
†Pearson correlation.

by a debriefing discussion surrounding the 4 domains of the ANTS,[30] led to a better performance during a high-fidelity simulation session. The large effect size supports the magnitude of our intervention effect. In this trial, we enrolled midwifery students or midwives during the first year of their professional activity. We observed limited NTS for the control group during a high-fidelity simulated PPH. We emphasize that these young midwives had never participated in a high-fidelity simulation and had never received training regarding NTS. These results confirm the positive impact of such a training tool for the management of critical situations.[16]

The mastery of NTS is a major goal for practitioners.[31] Early acquisition of NTS through dedicated training program is beneficial in the early phases of a health professional's career.[32,33] A recent study even found an improvement in clinical performances and outcomes associated with an increased self-confidence after the implementation of a simulation-based education program for NTS.[34]

In this study, we evaluated the training on a screen-based simulator. Virtual or graphical environments create interactive and engaging learning environments.[35] A recent review highlights the positive effect of serious games on knowledge acquisition despite the inconsistency of evidence to support the superiority of serious games over traditional learning approaches.[16] Serious games seemed to be effective for knowledge retention, as they have been shown to be equivalent to traditional learning approaches.[13,36,37] In 2 recent reviews, screen-based simulations also showed promise for NTS training in the health sciences, with improvements noted in error rates, multitasking, and teamwork.[38,39]

This project was the first to study the impact of training NTS with a screen-based simulation for a specific obstetrical emergency. Many obstetric situations are life-threatening emergencies. Postpartum hemorrhage is the leading cause of maternal death in the world, responsible for more than 100,000 deaths annually, mainly in developing countries.[40] Rapid recognition of PPH is the main condition to reduce maternal mortality,[6,7] but organizational and human factors are very important (eg, communication, team working, etc.), especially regarding the multidisciplinary aspect. A recent Australian study showed that the implementation of obstetric multiprofessional simulation training (half day of high-fidelity simulation training on obstetric emergencies with 508 participants) led to an improvement in both clinical and NTS during a postpartum hemorrhage situation. These results highlight the importance of teamwork, communication, leadership, and prioritization (pretest/posttest questionnaires). The improvement in the management of PPH was observed during the 2 following years after this training.[13]

To deepen the scope of our results, let's take the example of teamwork and more precisely communication. During the high-fidelity simulation session, the quantitative analysis of verbal exchanges analysis showed the participant communicated more with their colleagues in the NTS group than in the control group, whereas the number of communications between midwife and patient was stable for both groups. The previously trained midwifes seemed to have a better overall understanding of the importance of interprofessional communication during emergency situations. However, the quantitative aspect of our analysis limits the scope of this result, as the quality of these exchanges was not assessed. The causality between communication and case resolution remains unsure.

Limitations of the Study

First, the NTS assessment was performed with the ANTS scoring tool, which was not originally developed and validated for the studied population. The absence of published data on the use of the ANTS score for midwives is a limitation. However, the almost perfect agreement between raters highlights the feasibility and reliability of this score for our population.

Secondly, we did not collect baseline measurement for the participant's technical and NTS. This impairs the quality of evidences regarding the improvement in the NTS group. However, the 2 studied groups showed the same baseline professional experience and training level, and no participants had previous NTS training. This supports the equivalence in technical and NTS between groups.

TABLE 2. Interrater Reliability Between Experts (Percent Agreement, Corresponding κ Coefficient and Classification) of ANTS

Interrater Reliability				
Items	% Agreement	κ Coefficient	95% CI	Classification
Task management	86.11%	0.81	0.67–0.96	Almost perfect agreement
Team working	94.44%	0.93	0.83–1.00	Almost perfect agreement
Situation awareness	91.67%	0.89	0.77–1.00	Almost perfect agreement
Decision-making	88.89%	0.85	0.72–0.99	Almost perfect agreement

Copyright © 2019 by the Society for Simulation in Healthcare. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

Thirdly, the evaluation of the NTS was performed during a high-fidelity simulation session and not during a real-life case of PPH. The scarcity of the event makes it almost impossible to evaluate such real-life clinical impact. Its random occurrence would render a clinical evaluation in situ very laborious. Here, simulation can be a powerful tool as it allows us to recreate and study rare and/or critical events, such as this in a standardized way.[26] A recent study[41] highlighted this advantage by comparing results of simulation-based study versus real clinical situations: simulation might be a valid method to evaluate clinical issues.

Fourthly, the study did not evaluate the unique effect of the screen-based simulator on the NTS performance, but the effect of the simulation associated with a structured interview. Indeed, there is no simulation without debriefing, the opportunity for reflection and sharing, to transform experience into learning.[42,43] The screen-based simulation did not include NTS automated feedback. Because it was necessary to stay as close as possible to an in-game/automated feedback, we chose a structured interview on NTS based on the classification of Flin et al.[22]

Finally, the control group received screen-based simulation education but no specific NTS training. Therefore, we did not answer the question of screen-based approach efficiency compared with other ways of teaching NTS skills. At last, as training and assessment happened during the same day, no evaluation of learning retention was performed. These 2 points could be subjects for further studies.

CONCLUSIONS

Our study suggests that NTS screen-based simulation, with specific scenarios and debriefing, leads to higher midwives "NTS performance during simulated postpartum hemorrhage." This result is important given the scarcity and life-threatening nature of this complication, and there are still too numerous resulting deaths even in developing countries.

ACKNOWLEDGMENT

The authors thank the Baudelocque Midwifery School, Paris Descartes University, and especially Ms. Vérot and all the students who participated in the study. The authors also thank L'Agence Nationale de la Recherche. This article is part of "MacCoy Critical" project (Models for Adaptative feedback enriChment and Orchestration based virtual realitY in Critical situations) (ANR CE14-24 0021, https://maccoy.hds.utc.fr).

REFERENCES

1. Lynch CB. *A Textbook Of Postpartum Hemorrhage: A Comprehensive Guide To Evaluation, Management And Surgical Intervention. 1/E edition*. Duncow: Jaypee Brothers Publishers; 2006.
2. World Health Organization. WHO recommendations for the prevention and treatment of postpartum haemorrhage. 2012. Available at: http://www.myilibrary.com?id=1003393. Accessed October 13, 2018.
3. Deneux-Tharaux C, Bonnet MP, Tort J. Epidemiology of post-partum haemorrhage [in French]. *J Gynecol Obstet Biol Reprod (Paris)* 2014;43(10):936–950.
4. Weeks A. The prevention and treatment of postpartum haemorrhage: what do we know, and where do we go to next? *BJOG* 2015;122(2):202–210.
5. Les morts maternelles en France : mieux comprendre pour mieux prévenir. *5e rapport de l'Enquête nationale confidentielle sur les morts maternelles (ENCMM)* 2010-2012;231.
6. Marshall NE, Vanderhoeven J, Eden KB, Segel SY, Guise JM. Impact of simulation and team training on postpartum hemorrhage management in non-academic centers. *J Matern Fetal Neonatal Med* 2015;28(5):495–499.
7. Maslovitz S, Barkai G, Lessing JB, Ziv A, Many A. Improved accuracy of postpartum blood loss estimation as assessed by simulation. *Acta Obstet Gynecol Scand* 2008;87(9):929–934.
8. Cornthwaite K, Edwards S, Siassakos D. Reducing risk in maternity by optimising teamwork and leadership: an evidence-based approach to save mothers and babies. *Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol* 2013;27(4):571–581.
9. Sevdalis N, Hull L, Birnbach DJ. Improving patient safety in the operating theatre and perioperative care: obstacles, interventions, and priorities for accelerating progress. *Br J Anaesth* 2012;109(Suppl 1):i3–i16.
10. Gordon M, Darbyshire D, Baker P. Non-technical skills training to enhance patient safety: a systematic review. *Med Educ* 2012;46(11):1042–1054.
11. Ventre KM, Schwid HA. Computer and web based simulators. In: Levine AI, De Maria S, Schwartz AD, Sim AJ, éditeurs. The Comprehensive Textbook of Healthcare Simulation [Internet]. New York, NY: Springer New York; 2013.
12. Haerling KA. Cost-utility analysis of virtual and mannequin-based simulation. *Simul Healthc* 2018;13(1):33–40.
13. Liaw SY, Chan SW, Chen FG, Hooi SC, Siau C. Comparison of virtual patient simulation with mannequin-based simulation for improving clinical performances in assessing and managing clinical deterioration: randomized controlled trial. *J Med Internet Res* 2014;16(9):e214.
14. Kapralos B, Fisher S, Clarkson J, van Oostveen R. A course on serious game design and development using an online problem-based learning approach. *Interact Technol Smart Educ* 2015;12(2):116–136.
15. Gorbanev I, Agudelo-Londoño S, González RA, et al. A systematic review of serious games in medical education: quality of evidence and pedagogical strategy. *Med Educ Online* 2018;23(1):1438718.
16. Sipiyaruk K, Gallagher JE, Hatzipanagos S, Reynolds PA. A rapid review of serious games: from healthcare education to dental education. *Eur J Dent Educ* 2018;22(4):243–257.
17. Raynal P. Simulation benefits in obstetrical emergency: which proof level? [in French]. *Gynecol Obstet Fertil* 2016;44(10):584–590.
18. Schornack LA, Baysinger CL, Pian-Smith MCM. Recent advances of simulation in obstetric anesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol* 2017;30(6):723–729.
19. Barré J, Michelet D, Job A, et al. Does repeated exposure to critical situations in a screen-based simulation improve the self-assessment of non-technical skills in postpartum hemorrhage management? *Simul Gaming* 2019;1046878119827324.
20. Bracco F, Masini M, De Tonetti G, et al. Adaptation of non-technical skills behavioural markers for delivery room simulation. *BMC Pregnancy Childbirth* 2017;17(1):89.
21. Fletcher G, Flin R, McGeorge P, Glavin R, Maran N, Patey R. Anaesthetists' Non-Technical Skills (ANTS): evaluation of a behavioural marker system. *Br J Anaesth* 2003;90(5):580–588.
22. Flin RH, O'Connor P, Crichton M. Safety at the Sharp End: A Guide to Non-technical Skills. Burlington, VT: Ashgate Publishing Company; 2008.
23. Lyk-Jensen HT, Jepsen RM, Spanager L, Dieckmann P, Østergaard D. Assessing nurse anaesthetists' non-technical skills in the operating room. *Acta Anaesthesiol Scand* 2014;58(7):794–801.
24. Cole DC, Giordano CR, Vasilopoulos T, Fahy BG. Resident physicians improve nontechnical skills when on operating room management and leadership rotation. *Anesth Analg* 2017;124(1):300–307.
25. Cavicchiolo ME, Cavallin F, Staffler A, et al. Decision making and situational awareness in neonatal resuscitation in low resource settings. *Resuscitation* 2019;134:41–48.
26. Balki M, Chakravarty S, Salman A, Wax RS. Effectiveness of using high-fidelity simulation to teach the management of general anesthesia for cesarean delivery. *Can J Anaesth* 2014;61(10):922–934.

Copyright © 2019 by the Society for Simulation in Healthcare. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

27. Hagemann V, Herbstreit F, Kehren C, et al. Does teaching non-technical skills to medical students improve those skills and simulated patient outcome? *Int J Med Educ* 2017;8:101–113.

28. Boet S, Larrigan S, Martin L, Liu H, Sullivan KJ, Etherington N. Measuring non-technical skills of anaesthesiologists in the operating room: a systematic review of assessment tools and their measurement properties. *Br J Anaesth* 2018;121(6):1218–1226.

29. Randolph JJ. Online Kappa Calculator [Computer software]. 2008. Available at: http://justus.randolph.name/kappa. Accessed November 14, 2019.

30. Flin Rhona, O'Connor Paul. Safety at the sharp end: a guide to non-technical skills. Available at: https://www.crcpress.com/Safety-at-the-Sharp-End-A-Guide-to-Non-Technical-Skills/Flin-OConnor/p/book/9780754646006. Accessed October 23, 2018.

31. Makary MA, Daniel M. Medical error-the third leading cause of death in the US. *BMJ* 2016;353:i2139.

32. de Feijter JM, de Grave WS, Hopmans EM, Koopmans RP, Scherpbier AJ. Reflective learning in a patient safety course for final-year medical students. *Med Teach* 2012;34(11):946–954.

33. Gordon M, Hill E, Stojan JN, Daniel M. Educational interventions to improve handover in health care: an updated systematic review. *Acad Med* 2018;93(8):1234–1244.

34. Coggins A, Desai M, Nguyen K, Moore N. Early acquisition of non-technical skills using a blended approach to simulation-based medical education. *Adv Simul (Lond)* 2017;2:12.

35. Prensky M. *Don't Bother Me Mom-I'm Learning!* St Paul, MN: Paragon House Publishers; 2006.

36. Akl EA, Kairouz VF, Sackett KM, et al. Educational games for health professionals. *Cochrane Database Syst Rev* 2013;(3):CD006411.

37. Blakely G, Skirton H, Cooper S, Allum P, Nelmes P. Educational gaming in the health sciences: systematic review. *J Adv Nurs* 2009;65(2):259–269.

38. Graafland M, Schraagen JM, Schijven MP. Systematic review of serious games for medical education and surgical skills training. *Br J Surg* 2012;99(10):1322–1330.

39. Wang R, DeMaria S Jr., Goldberg A, Katz D. A systematic review of serious games in training health care professionals. *Simul Healthc* 2016;11(1):41–51.

40. Say L, Chou D, Gemmill A, et al. Global causes of maternal death: a WHO systematic analysis. *Lancet Glob Health* 2014;2(6):e323–e333.

41. Merry AF, Hannam JA, Webster CS, et al. Retesting the hypothesis of a clinical randomized controlled trial in a simulation environment to validate anesthesia simulation in error research (the VASER Study). *Anesthesiology* 2017;126(3):472–481.

42. Fanning RM, Gaba DM. The role of debriefing in simulation-based learning. *Simul Healthc J Soc Simul Healthc* 2007;2(2):115–125.

43. Garden AL, Le Fevre DM, Waddington HL, Weller JM. Debriefing after simulation-based non-technical skill training in healthcare: a systematic review of effective practice. *Anaesth Intensive Care* 2015;43(3):300–308.

Copyright © 2019 by the Society for Simulation in Healthcare. Unauthorized reproduction of this article is prohibited.

b) Synthèse

Dans cette étude randomisée contrôlée, nous avons mis en évidence un meilleur score d'évaluation des compétences non-techniques pour le groupe entraîné avec les scénarii conçus pour mobiliser les CNT suivis d'un débriefing des compétences techniques et non-techniques. Ce résultat a été constaté pour le score ANTS total mais également pour chaque sous-catégorie.

L'évaluation des CNT du groupe contrôle au cours de la simulation haute-fidélité d'hémorragie du post-partum a mis en évidence des compétences très limitées. Ces jeunes sages-femmes n'avaient jamais participé à une simulation haute-fidélité et n'avaient jamais reçu de formation aux compétences non-techniques. Ces résultats confirment l'impact positif de telles formations dans les cursus de formation.

Également, l'analyse quantitative des échanges verbaux a objectivé de plus nombreux échanges entre les participants de la simulation haute-fidélité dans le groupe CNT que dans le groupe contrôle.

Cette étude appuie donc les résultats de la précédente avec cette fois-ci une hétéro-évaluation experte du transfert des apprentissages en simulation haute-fidélité. L'analyse des verbalisations, bien qu'uniquement quantitative, pourrait être le reflet d'une progression en termes de communication entre les différents acteurs d'une situation critique.

Ces résultats semblent donc confirmer le potentiel de la simulation numérique pour la formation des professionnels de santé, y compris pour la formation aux compétences non-techniques, dans un contexte ici d'association à un débriefing sous forme d'un entretien structuré autour des compétences techniques et non-techniques par un formateur expert.

B. Expérimentation 2

1. Hypothèse 1 (Article 3: Effect of Computer debriefing on acquisition and retention of learning after screen-based simulation of neonatal resuscitation: a randomized study. JMIR, 2020.)

a) Introduction

Les résultats de notre deuxième article nous ont poussés à poursuivre dans la thématique du débriefing en simulation numérique. Nous avons alors construit une nouvelle expérimentation avec des étudiants sages-femmes sur la thématique de la réanimation du nouveau-né en salle de naissance basée sur un simulateur numérique également développé par Medusims®.

La réanimation néonatale est en effet une autre situation potentiellement critique qui nécessite une formation. Près de 10 % des nouveau-nés et 80 % des nourrissons pesant moins de 1 500 grammes subiront une réanimation à la naissance et la qualité des soins prodigués pendant la première minute de vie est directement liée au pronostic (155–157). Des connaissances théoriques basées sur les recommandations actuelles sont essentielles pour assurer une réanimation néonatale optimale. D'autres compétences techniques telles que la ventilation, l'intubation ou la mise en place d'un cathéter ombilical et des compétences non-techniques telles que la conscience de la situation, la prise de décision, la communication et le travail d'équipe (158,159) sont également nécessaires pour garantir sécurité et efficacité. Depuis 2011, le programme de réanimation néonatale (NRP) développé par l'American Academy of Pediatrics comprend une formation basée sur la simulation. Le NRP a entraîné une diminution de la mortalité néonatale et périnatale (160). Un simulateur numérique (NRP eSim®) conçu par Laerdal Medical en collaboration avec l'American Academy of Pediatrics, est inclus dans le programme NRP en tant que l'une des six composantes pédagogiques du programme éducatif NRP 7e édition (161). Il existe de ce fait une littérature récente assez riche sur la simulation numérique dans le domaine de la réanimation néonatale avec notamment une revue récente reprenant 4 études (162).

Le débriefing est indissociable de la simulation, car il a été démontré qu'il améliore la pratique professionnelle et les compétences cliniques (60,62). Différentes méthodes de débriefing existent : le débriefing post-simulation, le débriefing en simulation, le débriefing par l'instructeur, le débriefing vidéo-assisté, l'auto-débriefing et aussi le débriefing multimédia (une présentation de texte informatique avec voix-off audio et vidéos) (163,164). Le

débriefing est un processus formel, collaboratif et réflexif au sein de l'activité d'apprentissage par simulation. Il offre un retour sur les performances et est également un processus de communication sur l'explication et l'impact de l'expérience (61,165). L'étude de Boet *et al.* (166) a montré que l'auto-débriefing était aussi efficace que le débriefing traditionnel par un instructeur. Cela souligne l'importance du processus de réflexion axé sur les forces et les faiblesses. La simulation numérique devrait également fournir un débriefing. Il semble facile de collecter des données pendant la simulation et de les analyser pour fournir un retour d'informations pendant et après, à travers un débriefing informatique (154). Par exemple, après la formation NRP eSim®, les étudiants reçoivent des commentaires automatisés à but auto-réflexif. Cependant, à notre connaissance, il n'existe aucune évaluation de l'impact du débriefing intégré aux simulateurs numériques.

Notre étude randomisée contrôlée compare l'acquisition de connaissances théoriques et de compétences techniques et non-techniques lors de deux séries d'entraînement sur simulateur numérique à deux mois d'intervalle. Un groupe avait, à la fin du scénario, un débriefing intégré au simulateur sur les compétences techniques et non-techniques. Dans l'idée de conserver le côté autonome de la simulation numérique, le groupe contrôle n'avait accès à aucun débriefing. Les participants répondaient également à une question d'auto-évaluation de leur performance.

L'hypothèse formulée était qu'un débriefing intégré au simulateur numérique permettait une meilleure acquisition des connaissances ainsi qu'une progression des compétences techniques et non-techniques et que ce bénéfice serait durable dans le temps.

Original Paper

Effect of Computer debriefing on acquisition and retention of learning after screen-based simulation of neonatal resuscitation: a randomized study

Daphné Michelet[1], MD; Jessy Barré[2], PhD; Jennifer Truchot[2], PhD; Maire-Aude Piot[2], MD; Philippe Cabon[3], PhD; Antoine Tesnière[2], Prof Dr

[1]American Memorial Hospital, CHU de Reims, Reims, France
[2]Ilumens platform of simulation in healthcare, Paris, France
[3]LATI laboratory, Paris Descartes University, Paris, France

Corresponding Author:
Daphné Michelet, MD
American Memorial Hospital, CHU de Reims
47, rue Cognacq-Jay
Reims, 51100
France
Phone: 33 0326832537
Email: daphnemichelet@gmail.com

Abstract

Background: Debriefing is key in the simulation learning process.

Objective: This study focuses on the impact of a computer debriefing on learning acquisition and retention after a screen-based simulation training on neonatal resuscitation designed for midwifery students.

Methods: Midwifery students participated in two screen-based simulation sessions: session 1 and session 2 two months later. They were randomized in two groups: participants of the Debriefing group underwent a computer debriefing focusing on technical (TS) and non-technical skills (NTS) at the end of each scenario while the Control group received no debriefing. During session 1, students participated in two scenarios of screen-based simulation on neonatal resuscitation. During session 2, the students participated in a third scenario. The three scenarios had an increasing level of difficulty, and the first one represents the baseline level. Assessments included a knowledge questionnaire on neonatal resuscitation, a self-efficacy rating and an expert evaluation of TS with the Neonatal Resuscitation Performance Evaluation (NRPE) score and NTS with the Anesthetist Non-Technical Skills (ANTS) scoring system. We compared results between the groups with a Mann–Whitney U test.

Results: Twenty-eight midwifery students participated in the study. The midwives from the Debriefing group reached higher ANTS scores than the Control group during session 1 (13.25 vs 9, U=47.5, P=.02). Scores remained higher, without statistical difference during session 2 (10 vs 7.75, P=.08). Debriefing group had higher self-efficacy ratings at session 2 (3 vs 2, U=52, P=.02).When comparing the knowledge questionnaires, the significant baseline difference (13 for Debriefing group vs 14.5 for Control group, P=.05) disappeared at the end of session 1 and at session 2. No difference was found for the assessment of technical skills between groups or between sessions.

Conclusions: Computer debriefing seems to improve non-technical skills, self-efficacy and knowledge when compared to the absence of debriefing during a screen-based simulation. This study confirms the importance of debriefing after screen-based simulation as after any other kind of medical simulation.

Trial Registration: clinical trial NCT03844009

(JMIR Serious Games 2020;0(0):e0) doi: 10.2196/18633

KEYWORDS

Screen-based simulation; Debriefing; Neonatal resuscitation; simulation; medical education; midwifery; neonatal

XSL•FO
RenderX

Edited by G Eysenbach; submitted 09.03.20; peer-reviewed by N Chaniaud, S Jung; comments to author 29.03.20; revised version received 21.04.20; accepted 14.05.20; published 09.07.20

Please cite as:
Michelet D, Barré J, Truchot J, Piot MA, Cabon P, Tesnière A
Effect of Computer debriefing on acquisition and retention of learning after screen-based simulation of neonatal resuscitation: a randomized study
JMIR Serious Games 2020;0(0):e0
URL: http://games.jmir.org/2020/0/e0/
doi: 10.2196/18633
PMID:

©Daphné Michelet, Jessy Barré, Jennifer Truchot, Maire-Aude Piot, Philippe Cabon, Antoine Tesnière. Originally published in JMIR Serious Games (http://games.jmir.org), 09.07.2020. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work, first published in JMIR Serious Games, is properly cited. The complete bibliographic information, a link to the original publication on http://games.jmir.org, as well as this copyright and license information must be included.

XSL•FO
RenderX

Effect of Computer debriefing on acquisition and retention of learning after screen-based simulation of neonatal resuscitation: a randomized study.

Daphné Michelet (M.D.) [1,2], Jessy Barré (Ph.D.) [1], Jennifer Truchot (M.D.) [1,3], Marie-Aude Piot (M.D.) [1,4], Philippe Cabon (Associate Professor) [1,5], Antoine Tesnière (Professor) [1,6]

[1] Ilumens platform of medical simulation, Université de Paris, Paris, France

[2] Department of Anesthesia and Intensive care, American Memorial Hospital, Reims, France

[3] Emergency Department, Lariboisière University Hospital, Paris, France

[4] Psychiatry Department, Monsouris Mutualiste Institute, Paris, France

[5] LATI Laboratory, Université de Paris, Boulogne-Billancourt, France

[6] Department of Anesthesia and Intensive care, Georges Pompidou European Hospital, Paris, France

Corresponding author:

Daphné Michelet

Ilumens, 45 rue des Saints Pères 75006 Paris

Department of anesthesia, American Memorial Hospital, 47 rue Cognacq-Jay 51100 Reims

Tel: +33 3 26 83 25 37

Email: daphne.michelet@gmail.com

Institution:

Department of simulation Ilumens

Paris Descartes University

45 rue des Saints-Pères 75006 Paris, France

Phone: + 33 1 76 53 01 00

E-mail: contact@ilumens.org

Abstract

Background: Debriefing is key in the simulation learning process. This study focuses on the impact of a computer debriefing on learning acquisition and retention after a screen-based simulation training on neonatal resuscitation designed for midwifery students.

Methods: Midwifery students participated in two screen-based simulation sessions: session 1 and session 2 two months later. They were randomized in two groups: participants of the Debriefing group underwent a computer debriefing focusing on technical (TS) and non-technical skills (NTS) at the end of each scenario while the Control group received no debriefing. During session 1, students participated in two scenarios of screen-based simulation on neonatal resuscitation. During session 2, the students participated in a third scenario. The three scenarios had an increasing level of difficulty, and the first one represents the baseline level. Assessments included a knowledge questionnaire on neonatal resuscitation, a self-efficacy rating and an expert evaluation of TS with the Neonatal Resuscitation Performance Evaluation (NRPE) score and NTS with the Anesthetist Non-Technical Skills (ANTS) scoring system. We compared results between the groups with a Mann–Whitney U test.

Results: Twenty-eight midwifery students participated in the study. The midwives from the Debriefing group reached higher ANTS scores than the Control group during session 1 (13.25 vs 9, U=47.5, *P=.02*). Scores remained higher, without statistical difference during session 2 (10 vs 7.75, *P=.08*). Debriefing group had higher self-efficacy ratings at session 2 (3 vs 2, U=52, *P=.02*).When comparing the knowledge questionnaires, the significant baseline difference (13 for Debriefing group vs 14.5 for Control group, *P=.05*) disappeared at the end of session 1 and at session 2. No difference was found for the assessment of technical skills between groups or between sessions.

Conclusion: Computer debriefing seems to improve non-technical skills, self-efficacy and knowledge when compared to the absence of debriefing during a screen-based simulation. This study confirms the importance of debriefing after screen-based simulation as after any other kind of medical simulation.

Trial registration: clinical trial NCT03844009

Keywords: Screen-based simulation, Debriefing, Neonatal resuscitation

Introduction

Neonatal resuscitation requires training. Almost 10% of newborns and 80% of preterm newborns weighing less than 1500 grams will undergo resuscitation at birth and the quality of care provided during the first minute of life is directly linked to the outcome [1–3]. Theoretical knowledge from current guidelines (4) is essential to ensure optimal neonatal resuscitation. Several technical skills (TS), such as bag mask ventilation, endotracheal intubation or umbilical catheter placement and non-technical skills (NTS), such as situation awareness, decision making, communication and teamwork [4,5] are also required to ensure safety and efficacy.

Since 2011, the Neonatal Resuscitation Program (NRP) developed by the American Academy of Pediatrics includes simulation-based training. The implementation of NRP led to a decrease in neonatal and perinatal mortality [6]. Simulation training increases the trainees' self confidence [7], knowledge [2], technical skills [8], and improves team behavior [9]. Simulation training has many advantages such as the possibility to practice procedures without any risk for the patient, and for trainees to commit errors and learn from these errors, through the repetition of different scenarios (9).

In recent years, screen-based simulation has become increasingly prevalent. They show many advantages such as being more affordable than high-fidelity simulation [10], transportable and autonomous (no need for an instructor). Screen-based simulation appears to be a valid tool in simulation based education for health professionals, ensuring the same learning efficacy than traditional learning methods [11]. Indeed, recently the development of computer sciences allowed the creation of more realistic medical simulators improving knowledge and NTS acquisition, know-how and technical gestures [12,13]. A screen-based simulator (NRP eSim®) designed by Laerdal Medical in collaboration with the American Academy of Pediatrics, is even included in the NRP program as one of the six educational components of the NRP 7th edition educational curriculum [14].

Debriefing is inseparable from simulation. It has been shown to improve professional practice and clinical skills [15–18]. Debriefing represent a discussion between two or more individuals during which aspects of a performance are explored and analyzed with the aim of gaining insights that impact the quality of future clinical practice [19]. Various efficient debriefing methods exist: post simulation

84 debriefing, in-simulation debriefing, verbal instructor debriefing, video-assisted instructor debriefing,
85 self-debriefing and also multimedia debriefing (a computer text presentation with audio voice-over
86 and videos) [20,21]. For example, Boet *et al.* [22] showed that a self-debriefing (formative self-
87 assessment aiming to provide feedback, allowing students to reflect on their performance and
88 subsequently improve their skills), was as effective as traditional debriefing by an instructor. As part
89 of simulation-based education, screen-based simulation must provide debriefing. These simulators
90 "can easily include tools and modules of various kinds to collect data transparently during play. The
91 data can then be processed to provide material for feedback during play, as in-game debriefing, and
92 also as part of the end-of-game debriefing" [23]. For example, after the NRP eSim® training, students
93 received automated feedback for self-reflection, highlighting good performance achieved in the
94 experience, the procedures for which the trainee has to improve, and the missed procedures. These
95 feedbacks represent what we call here a "computer debriefing", often delivered after a screen-based
96 simulation, in order to stay in a virtual environment with no need of an instructor [24]. However, few
97 evaluations of the impact of computer debriefing on acquisition and retention of learning exist [25].
98 Retention of learning has been studied extensively after different simulation training in health
99 sciences [26] and in neonatal resuscitation [2,9,27,28]. However, the mean retention time of learning
100 after simulation training and the optimal time interval between two formations remains a debate [29–
101 32]. The role of debriefing on retention was already highlighted in some high-fidelity simulation
102 studies [33,34]. However, the role of the debriefing on retention of learning after screen-based
103 simulation has not been studied.
104 The objective of this study is to evaluate the impact of a computer debriefing after a screen-
105 based simulation session compared to no debriefing at all in order to stay in a virtual environment with
106 no instructor. Our endpoints are knowledge and skills acquisition and retention after two months. We
107 hypothesized that Debriefing group would obtain better scores in the different evaluations
108 (Knowledge, TS, NTS and self-efficacy) compared to Control group.
109

Methods

This randomized controlled simulation study was performed from November 2018 to January 2019 at the Baudelocque Midwifery school in Paris Descartes University. It was approved by the CERAR (Ethics Committee for Research in Anesthesia Resuscitation) n° IRB 00010254-2017-008. All students signed an informed written consent. The study was registered on clinical trial NCT03844009.

A. Participants

Volunteer participants were recruited from classes of fourth-year of Baudelocque Midwifery School from Paris. They all followed the same curriculum on neonatal resuscitation, which corresponds to only one academic course. No sample size calculation was performed for this research; a convenience sample was used. We included all the volunteers of the fourth-year class (28 on 35 students).

B. Screen-based simulation

The screen-based simulation (Périnatsims) was designed by Medusims© company. It features the virtual environment of a delivery room in three dimensions with a newborn installed on a neonatal resuscitation table (Fig. 1). The simulation used a point and click interface with a first-person point of view. In this digital simulator, learners could either be midwife, anesthetist or pediatrician but only midwifery students participated in this study. Throughout the scenario, the learner can call a pediatrician for help. Many scenarios were available with different difficulty level (e.g. preterm birth, emergency cesarean under general anesthesia, abruptio placentae).



Figure 1: Left, participant during a scenario. Right, screenshot of interface and virtual environment of Périnatsims screen-based simulation.

C. Design

Each participant performed individually two screen-based simulation sessions on a laptop: session 1 in November 2018 and session 2 in January 2019 (Fig. 1).The study design is summarized in Fig. 4.

Session 1 started with a knowledge questionnaire (Q1, baseline), followed by the briefing, consisting of a 15 minutes tutorial to explain the different possible actions in the screen-based simulation. The participant performed a first scenario (low difficulty level) considered as the baseline level for knowledge and skills. It was followed by a second scenario (medium difficulty level). At the end of session 1, each participant filled again the knowledge questionnaire (Q2) and a demographical survey including a self-efficacy question.

Session 2 took place two months later. The simulation started with the same knowledge questionnaire (Q3), the same tutorial and afterwards a third scenario (high difficulty level). At the end of session 2, a last knowledge questionnaire (Q4) and the self-efficacy question were completed.

For every participant, the three scenarios were identical, and in the same order of increasing difficulty. The potential exposition of each participant to a real case (or training) of neonatal resuscitation during the two months delay was controlled and monitored.

Participants were randomized in two groups: Debriefing group and Control group. At the end of each scenario, participants from the Debriefing group accessed a computer debriefing on technical and non-technical skills. Technical skills assessment, based on the ILCOR recommendations, was presented with a color code: green (well-performed action), orange (partially performed action), and red (absent or wrong action (see Fig. 2)).

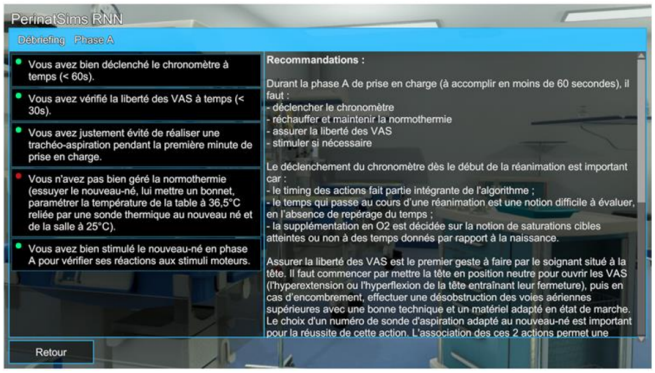


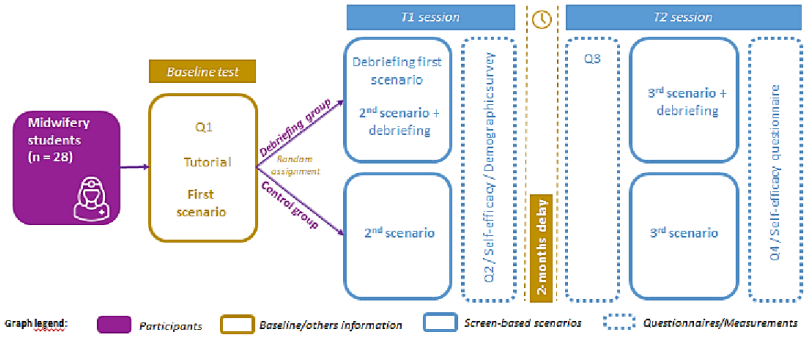
Figure 2: Screenshot of the computer debriefing of technical skills, concerning the Phase A of the algorithm.

Debriefing of the non-technical skills was a self-debriefing. Each non-technical skill involved in neonatal resuscitation [5,35] was explained in one sentence and then the learner self-rated for proficiency on a scale of 1 to 5 (Fig. 3).



Figure 3: Screenshot of the computer debriefing of non-technical skills. Here, “Situation awareness: Medical staff should develop and maintain a dynamic awareness of the situation during the neonatal resuscitation. Distractions must to be avoided”. The question is: “Do you think you had this behavior?” No/A lot (from 1 to 5).

Participants from the Control group had no debriefing until the end of the second session and the completion of every questionnaire. The sessions were recorded by the means of a camera with participant’s written consent.



174

175 Figure 4: Experiment design.

176

177 ## D. Outcomes

178 ### 1. Comparison of knowledge acquisition and retention

179 Knowledge was assessed by a validated questionnaire (25 questions with single or multiple choices)
180 based on the ILCOR recommendations [36]: (Q1) at the beginning of session 1, (Q2) at the end of
181 session 1, (Q3) at the beginning of session 2 and (Q4) at the end of session 2.

182

183 ### 2. Comparison of skills acquisition and retention

184 Two independent blinded raters (an anesthetist and a human factors expert specialized in health
185 sciences) evaluated the technical and non-technical skills retrospectively with the analysis of the video
186 recordings.

187 Technical skills were assessed by the NRPE scoring system (Neonatal Resuscitation Performance
188 Evaluation (29)), on 20 points adapted for each scenario (e.g., check the material, dried the newborn,
189 initiate mask ventilation). Non-technical skills were assessed by the Anesthesia Non-Technical Skills
190 observation system (ANTS [38]), including four categories: situation awareness, task management,
191 team working and decision making (e.g., prioritizing, coordinating activities with team members,
192 gathering information, selecting options). ANTS is a validated tool used to assess non-technical skills

in various situations, ranging from emergencies for medical students [39] to neonatal resuscitation for midwives (with a specific modified ANTS version, [40]). ANTS scores were recorded as the overall category scores on a scale of 1 – 4 (Poor performance (1) to Good performance (4)) and the global score (on 16 points) as described by the authors of the ANTS. Inter-rater reliability calculations were performed for both evaluations, with a good agreement between the two raters (kw>0.66; *P=.01*).

3. Comparison of self- efficacy evaluation

The self-efficacy question assessed midwives perception on their own performance: "How much are you confident in your capability to organize and execute a neonatal resuscitation?" using a 6-point Likert Scale ranging from: "not at all confident" (scored as 0) to "very confident" (scored as 5)[41]. It was assessed at the end of each session.

E. Statistical analysis

Data are presented as median [IQR] for continuous data given the small sample size. Agreement between raters for ANTS and NRPE was evaluated using percent agreement and corresponding Cohen Kappa coefficient (inter-rater agreement[42]). Comparisons between groups were performed using the Mann–Whitney U test for independent samples. All tests were two-tailed, and statistical significance was considered for $p < .05$. Statistical analyses were performed using SPSS 25.0 software (IBM Company, USA).

Results

Twenty-eight participants were included in the study, 14 were randomly assigned to the Control group and 14 to the Debriefing group. They were students in midwifery going through their fourth year of training in France (out of a curriculum of five years). Twenty-seven participants were women. The median [interquartile] age was 22 [21, 22] years. Five participants had previously followed high-fidelity simulation training and one had followed screen-based simulation training but

none on neonatal resuscitation. No participant had witnessed or participated in a real neonatal resuscitation during the two previous months, nor benefited from other training.

A. Comparison of knowledge acquisition and retention

Control group had better results at baseline (14.5 [12.5-16] vs 13 [11-13.75], *P=.05*). This difference disappeared in time: there is no difference between groups during session 1 and session 2. Results are presented in table 1.

	Q1 baseline	Q2 (End of session 1)	Q3 (session 2)	Q4 (End of session 2)
Debriefing group	12.5 [11-13.75]	13 [12.25-14]	14.5 [13-16]	14 [13.25-14.75]
Control group	14.5 [12.5-16]	14 [12.25-13.75]	14 [13.25-15]	14 [12.5-15.75]
U	56	66	82	83
p	P=.05	P=.15	P=.47	P=.48

Table 1: Comparison of the knowledge questionnaires of Control and Debriefing groups at baseline, session 1 and session 2. Mann-Whitney test (U, Median and [IQR]).

B. Comparison of skills acquisition and retention

1. Technical skills (NRPE)

No significant difference was found regarding the NRPE score during the experimentation (see Table 2).

2. Non-technical skills (ANTS)

A significant difference was observed between the two groups for session 1 (U=47.5; *P=.02*) and remained higher in favor of the Debriefing group during session 2 (U=60.5, *P=.08*), while no difference was found in the baseline evaluation (scenario 1). Results (including the subcategories analysis) are presented in table 2.

C. Comparison of self- efficacy evaluation

Significant difference was found between groups for session 2 (Table 2) with improved self-efficacy score for the debriefing group.

	Baseline			Session 1			Session 2		
	Debriefing	**Control**	**p/U**	**Debriefing**	**Control**	**p/U**	**Debriefing**	**Control**	**p/U**
ANTS (/16)	**8** [6.1-9.8]	**6.75** [5.6-7.9]	*P=.38* U=78.5	**13.25** [11.1-14.4]	**9** [6.6-11.4]	*P=.02* U=47.5	**10** [9.3-13.9]	**7.75** [6.5-12]	*P=.08* U=60.5
Task management (/4)	***1.89***	***1.6***	*U=70*	***3.7***	***2.2***	*U=43*	***2.5***	***2.1***	*U=78*
Teamwork (/4)	***2.03***	***1.78***	*U=80*	***3.39***	***2.6***	*U=54*	***3.5***	***2.85***	*U=65.5*
Situation awareness (/4)	***2***	***1.8***	*U=87*	***3.18***	***2.42***	*U=60*	***2.5***	***1.9***	*U=65.5*
Decision making (/4)	***1.7***	***1.75***	*U=94*	***2.96***	***2.3***	*U=61*	***2.46***	***2***	*U=70*
NRPE (/20)	**10** [7.3-12.3]	**10** [7.3-12.3]	*P=.87* U=94.5	**9.2** [7.7-13.5]	**10** [9.2-13.1]	*P=.62* U=87.5	**10.5** [8-12.8]	**10.5** [7.5-12]	*P=.96* U=97
Self-efficacy (/5)				**2** [1-2]	**2** [1-2]	*P=.76* U=92	**3** [2-3]	**2** [1-2]	*P=.02* U=52

Table 2: Results of the comparison between Debriefing and Control groups concerning non-technical skills, technical skills and self-efficacy evaluation. Mann-Whitney test (U, Median and [IQR]).

Discussion

A. Major findings:

This study highlights the benefit of a computer debriefing compared to no debriefing on non-technical skills acquisition, self-efficacy and knowledge after a screen-based simulation of neonatal resuscitation. Our hypothesis that Debriefing group would obtain better scores in the different evaluations compared to Control group is validated for knowledge, NTS and self-efficacy.

The major interest of debriefing after a simulation session has already been extensively demonstrated. The review of Cheng and al. [15], including 108 studies comparing debriefing versus no debriefing, found positive effects of debriefing on every knowledge and skills outcomes. From debriefing comes a major part of the theoretical benefit of screen-based simulation for training, contributing to meaningful connections between the learning experience and the real world (35). However, our study was the first to compare computer debriefing versus no debriefing and to analyze the impact on knowledge, technical and non-technical skills after a screen-based simulation.

Concerning knowledge evaluation, participants of Control group had better baseline knowledge of neonatal resuscitation than Debriefing group. Our results show an improvement of the Debriefing group' score from the baseline level, and the differences between groups disappeared at the end of sessions, in favor of a debriefing positive effect.

Usually, personalized debriefing after screen-based simulation addresses only technical skills. Data collected from the simulation are given back in the form of an automated feedback at the end of the scenario [24]. We found no evolution for the technical skills in our study. However the increasing

difficulty of the scenarios was designed in order to minimize the repetition effect on performance (repeating the same scenario increases the participants' skills more than varying the scenarios [44]). This could mask the effect of the debriefing itself since the required technical skills evolved with scenarios.

In this study, we added a self-debriefing of non-technical skills after the screen-based simulation of a neonatal resuscitation. In a review on screen-based simulation for medical education and surgical skills training [45], Graafland *et al.*, highlighted the interest of a screen-based simulation to train non-technical skills. Furthermore, in a review of debriefing techniques after non-technical skills simulation training, performance seemed to improve equally with various methods of debriefing: skilled facilitator, novice instructor using a script but also self-led debrief or multimedia debriefing (35). Our results confirm the possibility and benefit of a self-debriefing of non-technical skills following a screen-based simulation to improve learning.

The second major finding of this study is the effect of computer debriefing on retention two months after the initial training. The debriefing group showed a better self-efficacy assessment than the control group and ANTS performance remained higher than Control group. The role of debriefing on retention of learning was already highlighted in some studies [33,34]. Few articles assessed retention of learning after screen-based simulation training and results were rather positive when evaluated up to one month after simulation [46] but less effective than traditional learning methods when evaluated after six months [47]. Our positives results are encouraging and highlight the role of the debriefing in retention of learning even though further studies are needed to confirm a longer-term effect.

B. Limitations of the study:

First, we compared in this study the effect of a computer debriefing to the absence of debriefing. In fact, our objective was to stay in a "virtual" environment without need for an instructor. As debriefing is a major component of simulation training, participants from the control group had

292 access to the complete debriefing at the end of session 2. Therefore, this study only assessed the
293 efficacy of a computer debriefing but not the superiority over other debriefing methods.
294 Secondly, the timing of the debriefing was not standardized nor assessed. Participants from the
295 debriefing group had unlimited amount of time to consult the debriefing. This was not the case for the
296 control group; maybe, a free time period should have also been proposed to the control group to offer
297 the possibility for a spontaneous reflective process.
298 Thirdly, the NTS assessment was performed with the ANTS scoring tool, which was not
299 originally developed and validated for the studied population. The absence of published data on the
300 use of the ANTS score for midwives is a limitation.
301

302 Conclusion

303 Computer debriefing seems to improve non-technical skills and self-efficacy estimation when
304 compared to the absence of debriefing during a screen-based simulation. It allows also a progression
305 of learner's knowledge. This study supports the major interest of debriefing in screen-based simulation
306 as in any other kind of simulation, including through a computer debriefing.
307
308

DECLARATIONS:

Ethics approval and consent to participate: The study was approved by the CERAR (Ethics Committee for Research in Anesthesia Resuscitation) n° IRB 00010254-2017-008. All students signed an informed written consent.

Consent for publication: Not applicable

Availability of data and materials: The datasets used and/or analysed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Competing interests: The authors declare that they have no competing interests

Funding: None

Authors' contributions:

DM: participated in study design, student recruitment, simulation sessions, analysis of the simulation sessions a posteriori, data analysis and interpretation, drafting and revising the manuscript and approved the final version.

JB: participated in study design, student recruitment, simulation sessions, analysis of the simulation sessions a posteriori, data analysis and interpretation, drafting and revising the manuscript and approved the final version.

JT: participated in study design, analysis of the simulation sessions a posteriori, data interpretation, drafting and revising the manuscript and approved the final version.

M-A P: participated in the analysis of the simulation sessions a posteriori and approved the final version.

PC: participated in data collection analysis and interpretation, drafting and revising the manuscript and approved the final version.

AT: participated in data collection analysis and interpretation, drafting and revising the manuscript and approved the final version.

Acknowledgements: Authors would like to thank the Baudelocque midwifery school, Paris Descartes University and especially Ms. Vérot and all the students who participated in the study.

335 **References**

336 [1] Ryan CA, Clark LM, Malone A, Ahmed S. The effect of a structured neonatal resuscitation
337 program on delivery room practices. Neonatal Netw NN 1999;18:25–30. https://doi.org/10.1891/0730-
338 0832.18.1.25.

339 [2] Curran VR, Aziz K, O'Young S, Bessell C. Evaluation of the effect of a computerized training
340 simulator (ANAKIN) on the retention of neonatal resuscitation skills. Teach Learn Med 2004;16:157–
341 64. https://doi.org/10.1207/s15328015tlm1602_7.

342 [3] Pearlman SA, Zern SC, Blackson T, Ciarlo JA, Mackley AB, Locke RG. Use of neonatal
343 simulation models to assess competency in bag-mask ventilation. J Perinatol Off J Calif Perinat Assoc
344 2016;36:242–6. https://doi.org/10.1038/jp.2015.175.

345 [4] Thomas EJ, Taggart B, Crandell S, Lasky RE, Williams AL, Love LJ, et al. Teaching
346 teamwork during the Neonatal Resuscitation Program: a randomized trial. J Perinatol Off J Calif
347 Perinat Assoc 2007;27:409–14. https://doi.org/10.1038/sj.jp.7211771.

348 [5] Thomas EJ, Williams AL, Reichman EF, Lasky RE, Crandell S, Taggart WR. Team training
349 in the neonatal resuscitation program for interns: teamwork and quality of resuscitations. Pediatrics
350 2010;125:539–46. https://doi.org/10.1542/peds.2009-1635.

351 [6] Patel A, Khatib MN, Kurhe K, Bhargava S, Bang A. Impact of neonatal resuscitation trainings
352 on neonatal and perinatal mortality: a systematic review and meta-analysis. BMJ Paediatr Open
353 2017;1:e000183. https://doi.org/10.1136/bmjpo-2017-000183.

354 [7] Malmström B, Nohlert E, Ewald U, Widarsson M. Simulation-based team training improved
355 the self-assessed ability of physicians, nurses and midwives to perform neonatal resuscitation. Acta
356 Paediatr Oslo Nor 1992 2017;106:1273–9. https://doi.org/10.1111/apa.13861.

357 [8] Lee MO, Brown LL, Bender J, Machan JT, Overly FL. A medical simulation-based
358 educational intervention for emergency medicine residents in neonatal resuscitation. Acad Emerg Med
359 Off J Soc Acad Emerg Med 2012;19:577–85. https://doi.org/10.1111/j.1553-2712.2012.01361.x.

360 [9] Mileder LP, Urlesberger B, Szyld EG, Roehr CC, Schmölzer GM. Simulation-based neonatal
361 and infant resuscitation teaching: a systematic review of randomized controlled trials. Klin Padiatr
362 2014;226:259–67. https://doi.org/10.1055/s-0034-1372621.

[10] Gentry SV, Gauthier A, L'Estrade Ehrstrom B, Wortley D, Lilienthal A, Tudor Car L, et al. Serious Gaming and Gamification Education in Health Professions: Systematic Review. J Med Internet Res 2019;21:e12994. https://doi.org/10.2196/12994.

[11] Barré J, Michelet D, Job A, Truchot J, Cabon P, Delgoulet C, et al. Does Repeated Exposure to Critical Situations in a Screen-Based Simulation Improve the Self-Assessment of Non-Technical Skills in Postpartum Hemorrhage Management? Simul Gaming 2019:1046878119827324. https://doi.org/10.1177/1046878119827324.

[12] Ma M, Jain LC, Anderson P. Virtual, augmented reality and serious games for healthcare 1. vol. 1. Springer; 2014.

[13] Sawyer T, Umoren RA, Gray MM. Neonatal resuscitation: advances in training and practice. Adv Med Educ Pract 2017;8:11–9. https://doi.org/10.2147/AMEP.S109099.

[14] Cheng A, Eppich W, Grant V, Sherbino J, Zendejas B, Cook DA. Debriefing for technology-enhanced simulation: a systematic review and meta-analysis. Med Educ 2014;48:657–66. https://doi.org/10.1111/medu.12432.

[15] Sawyer T, Eppich W, Brett-Fleegler M, Grant V, Cheng A. More Than One Way to Debrief: A Critical Review of Healthcare Simulation Debriefing Methods. Simul Healthc J Soc Simul Healthc 2016;11:209–17. https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000148.

[16] Levett-Jones T, Lapkin S. A systematic review of the effectiveness of simulation debriefing in health professional education. Nurse Educ Today 2014;34:e58-63. https://doi.org/10.1016/j.nedt.2013.09.020.

[17] Kolbe M, Grande B, Spahn DR. Briefing and debriefing during simulation-based training and beyond: Content, structure, attitude and setting. Best Pract Res Clin Anaesthesiol 2015;29:87–96. https://doi.org/10.1016/j.bpa.2015.01.002.

[18] Chronister C, Brown D. Comparison of Simulation Debriefing Methods. Clin Simul Nurs 2012;8:e281–8. https://doi.org/10.1016/j.ecns.2010.12.005.

[19] Levett-Jones T, Lapkin S. A systematic review of the effectiveness of simulation debriefing in health professional education. Nurse Educ Today 2014;34:e58-63. https://doi.org/10.1016/j.nedt.2013.09.020.

391 [20] Cheng A, Eppich W, Grant V, Sherbino J, Zendejas B, Cook DA. Debriefing for technology-
392 enhanced simulation: a systematic review and meta-analysis. Med Educ 2014;48:657–66.
393 https://doi.org/10.1111/medu.12432.
394 [21] Boet S, Bould MD, Bruppacher HR, Desjardins F, Chandra DB, Naik VN. Looking in the
395 mirror: self-debriefing versus instructor debriefing for simulated crises. Crit Care Med 2011;39:1377–
396 81. https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e31820eb8be.
397 [22] Crookall D. Serious games, debriefing, and simulation/gaming as a discipline. Simul Gaming
398 2010;41:898–920.
399 [23] Roy KM, Miller MP, Schmidt K, Sagy M. Pediatric residents experience a significant decline
400 in their response capabilities to simulated life-threatening events as their training frequency in
401 cardiopulmonary resuscitation decreases. Pediatr Crit Care Med J Soc Crit Care Med World Fed
402 Pediatr Intensive Crit Care Soc 2011;12:e141-144. https://doi.org/10.1097/PCC.0b013e3181f3a0d1.
403 [24] Kaczorowski J, Levitt C, Hammond M, Outerbridge E, Grad R, Rothman A, et al. Retention
404 of neonatal resuscitation skills and knowledge: a randomized controlled trial. Fam Med 1998;30:705–
405 11.
406 [25] Kudreviciene A, Nadisauskiene RJ, Tameliene R, Tamelis A, Nedzelskiene I, Dobozinskas P,
407 et al. Initial neonatal resuscitation: skill retention after the implementation of the novel 24/7
408 HybridLab® learning system. J Matern-Fetal Neonatal Med Off J Eur Assoc Perinat Med Fed Asia
409 Ocean Perinat Soc Int Soc Perinat Obstet 2019;32:1230–7.
410 https://doi.org/10.1080/14767058.2017.1402881.
411 [26] Thomas EJ, Sexton JB, Helmreich RL. Translating teamwork behaviours from aviation to
412 healthcare: development of behavioural markers for neonatal resuscitation. Qual Saf Health Care
413 2004;13 Suppl 1:i57-64. https://doi.org/10.1136/qhc.13.suppl_1.i57.
414 [27] Bélondrade P, Lefort H, Bertho K, Perrochon J-C, Jost D, Tourtier J-P, et al. Guidelines for
415 care of the newborn baby at birth knowledge by prehospital emergency physicians. Anaesth Crit Care
416 Pain Med 2016;35:17–23. https://doi.org/10.1016/j.accpm.2015.06.004.

417 [28] van der Heide PA, van Toledo-Eppinga L, van der Heide M, van der Lee JH. Assessment of
418 neonatal resuscitation skills: a reliable and valid scoring system. Resuscitation 2006;71:212–21.
419 https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2006.04.009.
420 [29] Fletcher G, Flin R, McGeorge P, Glavin R, Maran N, Patey R. Anaesthetists' Non-Technical
421 Skills (ANTS): evaluation of a behavioural marker system. Br J Anaesth 2003;90:580–8.
422 [30] Hagemann V, Herbstreit F, Kehren C, Chittamadathil J, Wolfertz S, Dirkmann D, et al. Does
423 teaching non-technical skills to medical students improve those skills and simulated patient outcome?
424 Int J Med Educ 2017;8:101–13. https://doi.org/10.5116/ijme.58c1.9f0d.
425 [31] Cavicchiolo ME, Cavallin F, Staffler A, Pizzol D, Matediana E, Wingi OM, et al. Decision
426 Making and Situational Awareness in Neonatal Resuscitation in Low Resource Settings. Resuscitation
427 2018. https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.10.034.
428 [32] Roh YS, Lee WS, Chung HS, Park YM. The effects of simulation-based resuscitation training
429 on nurses' self-efficacy and satisfaction. Nurse Educ Today 2013;33:123–8.
430 https://doi.org/10.1016/j.nedt.2011.11.008.
431 [33] Randolph JJ. Online kappa calculator. Retrieved Oct 2008;20:2011.
432 [34] Haerling KA. Cost-Utility Analysis of Virtual and Mannequin-Based Simulation. Simul
433 Healthc J Soc Simul Healthc 2018;13:33–40. https://doi.org/10.1097/SIH.0000000000000280.
434 [35] de Wit-Zuurendonk LD, Oei SG. Serious gaming in women's health care. BJOG Int J Obstet
435 Gynaecol 2011;118 Suppl 3:17–21. https://doi.org/10.1111/j.1471-0528.2011.03176.x.
436 [36] Tofil NM, Peterson DT, Wheeler JT, Youngblood A, Zinkan JL, Lara D, et al. Repeated
437 versus varied case selection in pediatric resident simulation. J Grad Med Educ 2014;6:275–9.
438 https://doi.org/10.4300/JGME-D-13-00099.1.
439 [37] Graafland M, Schraagen JM, Schijven MP. Systematic review of serious games for medical
440 education and surgical skills training. Br J Surg 2012;99:1322–30. https://doi.org/10.1002/bjs.8819.
441 [38] Cicero MX, Auerbach MA, Zigmont J, Riera A, Ching K, Baum CR. Simulation training with
442 structured debriefing improves residents' pediatric disaster triage performance. Prehospital Disaster
443 Med 2012;27:239–44. https://doi.org/10.1017/S1049023X12000775.

[39] Yardley S, Teunissen PW, Dornan T. Experiential learning: transforming theory into practice. Med Teach 2012;34:161–4. https://doi.org/10.3109/0142159X.2012.643264.

[40] Kanthan R, Senger J-L. The impact of specially designed digital games-based learning in undergraduate pathology and medical education. Arch Pathol Lab Med 2011;135:135–42. https://doi.org/10.1043/2009-0698-OAR1.1.

[41] Rondon S, Sassi FC, Furquim de Andrade CR. Computer game-based and traditional learning method: a comparison regarding students' knowledge retention. BMC Med Educ 2013;13:30. https://doi.org/10.1186/1472-6920-13-30.

LIST OF ABBREVIATIONS:

ANTS: Anaesthesia Non-Technical Skills

NRP: Neonatal Resuscitation Program

NRPE: Neonatal Resuscitation Performance Evaluation

NTS: Non-Technical Skills

TS: Technical Skills

FIGURES AND TABLES LEGEND:

Figure 1: Left, participant during a scenario. Right, screenshot of interface and virtual environment of Périnatsims screen-based simulation. (Page 6)

Figure 2: Screenshot of the computer debriefing of technical skills, concerning the Phase A of the algorithm. (Page 7)

Figure 3: Screenshot of the computer debriefing of non-technical skills. Here, “Situation awareness: Medical staff should develop and maintain a dynamic awareness of the situation during the neonatal resuscitation. Distractions must to be avoided”. The question is: “Do you think you had this behavior?” No/A lot (from 1 to 5). (Page 7)

Figure 4: Experiment design. (Page 8)

Table 1: Comparison of the knowledge questionnaires of Control and Debriefing groups at baseline, session 1 and session 2. Mann-Whitney test (U, Median and [IQR]). (Page 10)

Table 2: Comparison between Debriefing and Control groups concerning non-technical skills, technical skills and self-efficacy evaluation. Mann-Whitney test (U, Median and [IQR]). (Page 11)

b) Synthèse

Cette étude a mis en évidence une évolution positive au cours de l'expérimentation des connaissances, des compétences non-techniques et de l'auto-évaluation de la performance dans le groupe débriefing.

A l'issue de la première session les compétences non-techniques évaluées par l'ANTS sont supérieures pour le groupe débriefing. Elles restent supérieures lors de la seconde session deux mois plus tard bien que la différence ne soit plus significative.

L'auto-évaluation de la prise en charge par les étudiants est plus élevée à la deuxième session dans le groupe débriefing.

Les connaissances progressent dans le temps pour le groupe débriefing et la différence initiale qui existait entre les groupes en faveur du groupe contrôle disparaît après entraînement.

Aucune différence n'a été mise en évidence concernant les compétences techniques. Il faut cependant noter qu'à chaque session le scénario était différent et de difficulté croissante afin d'éviter tout biais de répétition.

L'ensemble de ce travail doctoral s'intéresse à la simulation numérique et en particulier sa capacité à entraîner les compétences non-techniques. L'un des postulats à l'origine de ce travail est que cette forme de simulateurs possède des avantages et notamment celui d'être plus abordables financièrement qu'un simulateur haute-fidélité (142), d'être transportable et autonome, ne nécessitant pas forcement la présence d'un instructeur. C'est dans cette idée que nous avons choisi de comparer dans cette étude un débriefing intégré à aucun débriefing. L'importance du débriefing en simulation numérique a déjà été évoquée pour l'acquisition de connaissances ou de compétences (167,168). Il s'agit cependant du premier travail visant à objectiver les bénéfices du débriefing intégré au simulateur numérique. Notre principal résultat semble appuyer l'intérêt de la simulation numérique associée à un débriefing pour l'entraînement des compétences non-techniques.

2. Hypothèse 2 (Article 4 : Midwifery students' retention of learning after screen-based simulation training on neonatal resuscitation: a pilot study. BMJ STEL, 2019.)

a) Introduction

La quatrième, et dernière étude de ce projet doctoral, est un sous-projet du précédent, basé sur les même données mais focalisé sur le groupe débriefing afin d'évaluer la rétention de connaissances et compétences à deux mois suite à une formation sur simulateur numérique. Les paramètres évalués étaient les mêmes : connaissances (questionnaire ILCOR), compétences techniques et non-techniques, auto-évaluation de la prise en charge.

Peu d'articles ont évalué la rétention de l'apprentissage après une formation par simulation numérique. Les résultats étaient plutôt positifs lorsqu'ils étaient évalués jusqu'à un mois après la simulation (153) mais moins efficaces que les méthodes d'apprentissage traditionnelles lorsqu'ils étaient évalués après six mois (169).

Midwifery students' retention of learning after screen-based simulation training on neonatal resuscitation: a pilot study

Jessy Barré ,[1] Daphné Michelet,[1,2] Jennifer Truchot,[3] Philippe Cabon,[4] Antoine Tesniere[1,5]

► Additional material is published online only. To view please visit the journal online (http://dx.doi.org/10.1136/bmjstel-2019-000525).

[1]Ilumens, Paris Descartes University, Paris, Île-de-France, France
[2]Department of Anesthesia and Intensive Care, Robert-Debré University Hospital, Paris, Île-de-France, France
[3]Department of Emergency Medicine, Lariboisière University Hospital, Paris, Île-de-France, France
[4]LATI, Paris Descartes University, Paris, Île-de-France, France
[5]Department of Anesthesia and Intensive care, European Hospital Group Georges-Pompidou, Paris, Île-de-France, France

Correspondence to
Dr Jessy Barré, Ilumens, Université Paris Descartes, Paris 75006, France; jessy.barre@gmail.com

Received 3 September 2019
Revised 19 March 2020
Accepted 27 March 2020

Check for updates

© Author(s) (or their employer(s)) 2020. No commercial re-use. See rights and permissions. Published by BMJ.

To cite: Barré J, Michelet D, Truchot J, *et al*. *BMJ Stel* Epub ahead of print: [*please include* Day Month Year]. doi:10.1136/bmjstel-2019-000525

ABSTRACT

Simulation in medical education is widely used to teach both technical and non-technical skills. The use of tools such as screen-based simulation raises the question of their efficiency and the retention rate for knowledge and skills. In this study, we measured midwives' retention of learning after screen-based simulation training on neonatal resuscitation. 14 midwifery students participated in this pilot study. They undertook two screen-based simulation sessions 2 months apart. Measurements included a knowledge quiz, a self-efficacy assessment and two experts' evaluations of the Anaesthetists' Non-Technical Skills (ANTS) and Neonatal Resuscitation Performance Evaluation (NRPE) scoring (non-technical and technical skills, respectively). A demographic survey with open-ended questions on professional experience and learning concluded the study. We showed an improvement in the self-efficacy assessment ($p<0.05$), the knowledge quiz ($p<0.01$) and the ANTS evaluation ($p<0.0001$). However, there was no significant difference in the NRPE score. The students enjoyed the apprenticeship aspect of the screen-based simulation. Repeated exposure to a screen-based simulation on neonatal resuscitation could be advantageous for non-technical skills training, self-confidence and retention of knowledge. This is still a work in progress, undergoing further investigation with more participants and new variables.

INTRODUCTION

Worldwide, about a quarter of neonatal deaths are caused by birth asphyxia.[1] In France, 10% of 800 000 newborns require resuscitation manoeuvres [HAS report: https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2014-03/guide_qualite_securite_secteur_naissance.pdf.] The quality of care provided during the first minute of life is critical to ensure a positive outcome.[2] Simulation-based training has been used to teach paediatric and neonatal medicine,[3] because of its strong proven benefit for health professionals.[4 5] Screen-based simulation is employed in medicine to enhance competency and improve patient care,[6 7] mainly in paediatric and neonatal resuscitation.[8 9] Although promising, the efficiency of screen-based simulation and the long-term retention of learning remain to be proven.[8 10 11] Recent advances in computer science provide high-fidelity simulation with realistic actions combined with realistic environments. It is essential to confirm the efficiency of these tools to support their integration in the medical curriculum. The objective of this pilot study is to evaluate the retention of knowledge after repeated screen-based simulation training. We hypothesise that we will show improvement in the different measures (knowledge, technical and non-technical skills) between the first and the second session (2 months later).

NB What we call here 'non-technical skills', are inextricably linked with clinical practice, and thus very much linked to technical skills. Some authors have in fact suggested that the terminology be revised and the dichotomy between skill types removed: Murphy P, Nestel D, Gormley GJ. Words matter: towards a new lexicon for 'nontechnical skills' training. Adv Simul 2019; 4, 8:2-4).

PARTICIPANTS

Fourteen midwives participated in the training (women with a mean age of 21.9±0.99 SD years). They were in their fourth (penultimate) year in the midwifery Baudelocque School at Paris Descartes University. The ethical committee of SFAR approved the experimental design of this study (*Société Française d'Anesthésie et de Réanimation*, N°IRB 00010254-2017-008). The experimental data were collected with the approval and written consent of each participant.

MATERIAL

The Medusims Company designed this single-user point and click screen-based simulation with the help of a French medical experts committee. It features a virtual environment of a delivery room with a newborn on the neonatal resuscitation table (figure 1). Each exercise started with a briefing on the clinical situation (eg, '*30-year-old woman, term (39 weeks) delivery by emergency C-section because of anoxia (important disorders of fetal heart rate), because of placental abruption (emergency/red grade). Newborn skin is humid with maternal blood trails (bloody amniotic fluid). The female newborn, Elise, weighs 3.2 kg (7.1 lb)*', the clinical scenario was not inspired from an actual patient. Any resemblance to real person living or deceased would be a coincidence.) During the training, the learner could perform various actions from the neonatal resuscitation ILCOR algorithm such as[12]: checking the technical equipment and starting the timer, identifying and distributing

BMJ STEL: first published as 10.1136/bmjstel-2019-000525 on 6 April 2020. Downloaded from http://stel.bmj.com/ on April 7, 2020 by guest. Protected by copyright.

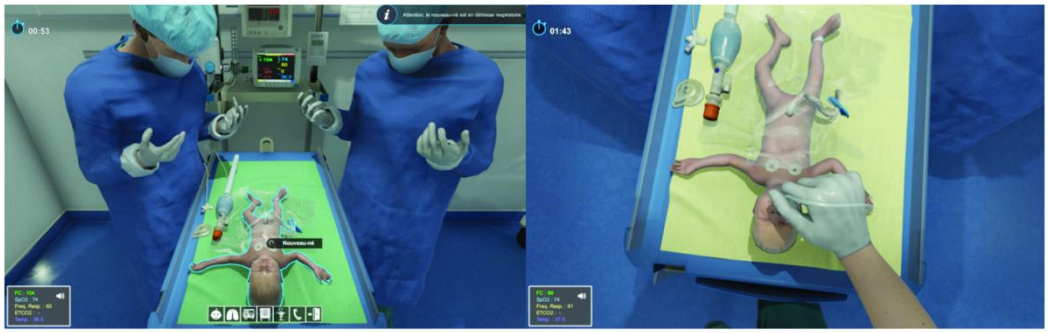


Figure 1 Screenshots of the screen-based simulation used in this study.

various tasks to the medical team members, checking the baby warmer, doing appropriate tactile stimulation, opening the mouth at the right time, intubation when necessary and so on. After each exercise, a computer debriefing on technical and non-technical skills concluded the simulation session. A colour code indicated the technical actions that were well done (green), those that could be improved (orange) and the ones that were not completed (red). The screen-based simulations were conducted in a training room at the Baudelocque School at Paris Descartes University on a laptop computer (13-inch screen with 2560×1600 resolution). A video recording (screen capture) of each training was obtained for subsequent expert evaluation.

MEASURES

The protocol was designed to assess midwives' procedural (knows) and declarative knowledge (does).[13] The performance was evaluated with four subjective and objective measurements: (1) a self-efficacy question was used to assess the midwives' perceptions on neonatal resuscitation efficacy after each simulation session: 'How confident are you in your capability to organise and execute neonatal resuscitation?', using a 6-point Likert scale ranging from 'not at all confident' (scored as 0) to 'very confident' (scored on a 5-point scale); (2) a knowledge quiz on neonatal resuscitation before and after each simulation. This quiz included 25 items with single or multiple-choice questions.[14] The correct answers were not shown to the participants during learning, but only after the training; (3) a non-technical skills expert evaluation performed the 16-point global score of ANTS (Anaesthetists' Non-Technical Skills[15]) from the screencast of simulations; (4) a technical skills expert evaluation was conducted with the NRPE (Neonatal Resuscitation Performance Evaluation[16]) score. In this study, we opted for the modified version of the NRPE score (based on 20 points) because some items were not included in the virtual exercises. Finally, a demographic survey including open-ended questions on experience and learning concluded the study. Statistical analysis was performed using non-parametric tests (Wilcoxon or Friedman tests).

PROCEDURE

Each participant was exposed individually to two 45 min screen-based simulation sessions during a 2-month interval. Before the simulation, each participant followed a software tutorial. During the first session (November 2018), the midwives performed two exercises using the screen-based simulation; the first exercise was defined as the baseline level. After each exercise, a computer debriefing on technical and non-technical skills completed the training. Before this session, participants completed the questionnaire to assess baseline knowledge on neonatal resuscitation. At the end of the first session, participants were asked about the self-efficacy of neonatal resuscitation management and again filled the knowledge questionnaire. Two months later during the second session, midwives performed one exercise on the screen-based simulation. The challenge level was gradually increased during the sessions. Again, pre-quiz and post-quiz knowledge

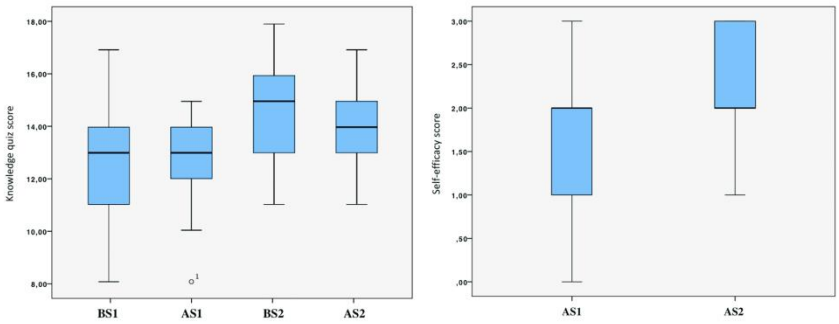


Figure 2 Box plot illustrating the knowledge quiz and self-efficacy assessment (min-max, median, Q1, Q3). AS1, after session 1; AS2, after session 2; BS1, before session 1; BS2, before session 2.

BMJ STEL: first published as 10.1136/bmjstel-2019-000525 on 6 April 2020. Downloaded from http://stel.bmj.com/ on April 7, 2020 by guest. Protected by copyright.

Table 1 Calculated Khi² scores from the different simulation training (mean±SD (min–max), median (IQR) and Friedman test)

	Exercise 1 (session 1)		Exercise 2 (session 1)		Exercise 3 (session 2)			
	Mean±SD (Min–Max)	Median (IQR)	Mean±SD (Min–Max)	Median (IQR)	Mean±SD (Min–Max)	Median (IQR)	Khi²	P value
ANTS score	7.64±2.24 (4–10.5)	8 (5.75–10)	12.61±2.18 (9–16)	13.25 (10.62–13.25)	11.07±3.14 (6–16)	10 (8.87–14.12)	18.145	<0.0001
NRPE score	9.61±3.73 (3.63–16.36)	10 (6.81–12.72)	9.9±4.59 (2–17)	10.5 (7–13.25)	10.65±3.83 (6.15–18.46)	9.23 (7.69–14.23)	0.429	0.807

ANTS, Anaesthetists' Non-Technical Skills; NRPE, Neonatal Resuscitation Performance Evaluation.

questionnaires were filled out to analyse learning retention. In addition, at the end of the second session, participants filled out the self-efficacy assessment and the demographic survey. After the simulations, two medical and human factors experts analysed the video recordings for each of the three exercises and filled out the ANTS and NRPE scores.

RESULTS

The median self-efficacy score increased significantly between the first and the second simulation sessions (Wilcoxon test, $z=-2.124$, $p<0.05$; figure 2). We also found a positive evolution of the knowledge score (Friedman test, $Khi^2=12.846$, $p<0.01$; figure 2).

The two experts analysed 42 videos. The inter-rater agreement for the ANTS evaluation was considered as substantial ($K>0.61$) and the inter-rater agreement for the NRPE evaluation was considered as almost perfect ($K>0.81$). With regard to the ANTS score, a positive evolution was observed between the first and the last exercise (Friedman test, $p<0.0001$; table 1). However, no significant difference was shown for the NRPE score (Friedman test, $p=0.807$; table 1).

DISCUSSION

In healthcare education, screen-based and virtual reality simulation has been used since 2000 to improve technical or non-technical skills learning.[17 18] Benefits and effectiveness are crucial elements to assess the utility in the learning process. In this pilot study, we analysed the midwives' retention of learning after screen-based simulation training on neonatal resuscitation. We focused our evaluation on declarative (knows) and procedural (does) knowledge,[13] with both subjective and objective assessments. Consistent with recent reports,[19] we observed positive effects from the repeated exposure to a screen-based simulation on the retention of learning after a 2-month delay, although these results are issued from a limited sample of participants. Self-efficacy, knowledge and ANTS assessment increased between the sessions. Between the end of the first session and the beginning of the second session, the results from the knowledge questionnaire increased. The quiz itself may have contributed to knowledge gain. Even though we checked whether midwives underwent neonatal training or real resuscitation, we cannot rule out the possibility of discussions with fellow colleagues or having studied the algorithm after the first session. However, no significant improvement was observed concerning the technical skills measurement with the NRPE score. This could be due to the increasing range of difficulty after each exercise. Although digital simulators do not replace the traditional curriculum (eg, courses, high-fidelity practice), they can be used more routinely and therefore help ensure long-term retention of learning. Many advantages were cited in open-ended questions after the simulation sessions (online supplementary appendix 1), such as the fidelity and realism of the virtual environment (including the actions/gesture) and the apprenticeship aspect of the simulator (guidance, information and so on).

CONCLUSIONS

The conditions that facilitate effective learning in simulation-based training are feedback, repetitive practice, range of difficulty level and individual learning.[20] All of these features are found in this screen-based simulation. This is a work in progress still undergoing further investigation through a larger cohort study with new variables.

Contributors Conceived and designed the experiment: all authors. Collected data, data analysis, wrote the paper: JB and DM. Rereading: JT, PC and AT.

Funding The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial or not-for-profit sectors.

Competing interests None declared.

Patient consent for publication Not required.

Provenance and peer review Not commissioned; externally peer reviewed.

Data availability statement Data are available upon reasonable request. The data that support the findings of this study are available from the corresponding author, JB, upon reasonable request.

ORCID iD

Jessy Barré http://orcid.org/0000-0003-3149-2274

REFERENCES

1 Diaz-Rosello JL, Gisore P, Niermeyer S, *et al*. *Guidelinesonbasicnewborn resuscitation 2012*. Geneva: World Health Organization, 2012.
2 Perlman JM, Wyllie J, Kattwinkel J, *et al*. Part 7: neonatal resuscitation: 2015 international consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Circulation* 2015;132:S204–41.
3 Lopreiato JO, Sawyer T. Simulation-Based medical education in pediatrics. *Acad Pediatr* 2015;15:134–42.
4 Bruno CJ, Angert R, Rosen O, *et al*. Simulation as a tool for improving acquisition of neonatal resuscitation skills for obstetric residents. *J Matern Fetal Neonatal Med* 2016;29:2625–9.
5 Malmström B, Nohlert E, Ewald U, *et al*. Simulation-Based team training improved the self-assessed ability of physicians, nurses and midwives to perform neonatal resuscitation. *Acta Paediatr* 2017;106:1273–9.
6 Streufert S, Satish U, Barach P. Improving medical care: the use of simulation technology. *Simul Gaming* 2001;32:164–74.
7 Chang TP, Weiner D. Screen-based simulation and virtual reality for pediatric emergency medicine. *Clin Pediatr Emerg Med* 2016;17:224–30.
8 Biese KJ, Moro-Sutherland D, Furberg RD, *et al*. Using screen-based simulation to improve performance during pediatric resuscitation. *Acad Emerg Med* 2009;16 Suppl 2:S71–5.
9 Sawyer T, Umoren RA, Gray MM. Neonatal resuscitation: advances in training and practice. *Adv Med Educ Pract* 2017;8:11–19.
10 Curran VR, Aziz K, O'Young S, *et al*. Evaluation of the effect of a computerized training simulator (ANAKIN) on the retention of neonatal resuscitation skills. *Teach Learn Med* 2004;16:157–64.
11 Creutzfeldt J, Hedman L, Medin C, *et al*. Exploring virtual worlds for scenario-based repeated team training of cardiopulmonary resuscitation in medical students. *J Med Internet Res* 2010;12:e38.
12 Wyckoff MH, Aziz K, Escobedo MB, *et al*. Part 13: neonatal resuscitation: 2015 American heart association guidelines update for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation* 2015;132:S543–60.

BMJ STEL: first published as 10.1136/bmjstel-2019-000525 on 6 April 2020. Downloaded from http://stel.bmj.com/ on April 7, 2020 by guest. Protected by copyright.

13 Miller GE. The assessment of clinical skills/competence/performance. *Acad Med* 1990;65:S63–7.
14 Bélondrade P, Lefort H, Bertho K, *et al*. Guidelines for care of the newborn baby at birth knowledge by prehospital emergency physicians. *Anaesth Crit Care Pain Med* 2016;35:17–23.
15 Fletcher G, Flin R, McGeorge P, *et al*. Anaesthetists' non-technical skills (ants): evaluation of a behavioural marker system. *Br J Anaesth* 2003;90:580–8.
16 van der Heide PA, van Toledo-Eppinga L, van der Heide M, *et al*. Assessment of neonatal resuscitation skills: a reliable and valid scoring system. *Resuscitation* 2006;71:212–21.
17 Persson J. A review of the design and development processes of simulation for training in healthcare - A technology-centered versus a human-centered perspective. *Appl Ergon* 2017;58:314–26.
18 Bracq M-S, Michinov E, Jannin P. Virtual reality simulation in Nontechnical skills training for healthcare professionals: a systematic review. *Simul Healthc* 2019;14:188–94.
19 Padilha JM, Machado PP, Ribeiro A, *et al*. Clinical virtual simulation in nursing education: randomized controlled trial. *J Med Internet Res* 2019;21:e11529.
20 Issenberg SB, McGaghie WC, Petrusa ER, *et al*. Features and uses of high-fidelity medical simulations that lead to effective learning: a BEME systematic review. *Med Teach* 2005;27:10–28.

BMJ STEL: first published as 10.1136/bmjstel-2019-000525 on 6 April 2020. Downloaded from http://stel.bmj.com/ on April 7, 2020 by guest. Protected by copyright.

b) Synthèse

Les analyses de données de notre petit effectif d'apprenants (14 étudiants) ont permis de mettre en évidence une progression des connaissances, des compétences non-techniques et de l'auto-évaluation tout au long de l'expérimentation. Nous n'avons pas observé d'amélioration des compétences techniques.

Ces résultats partiellement positifs semblent à nouveau nous encourager à mieux définir la place réservée à l'enseignement ou l'entraînement autonome par simulation numérique dans le cursus de formation des professionnels de santé notamment dans la prise ne charge de situations critiques et rares.

IV. Synthèse du travail et perspectives

A. Résumé détaillé

Ce travail nous a permis d'aborder plusieurs problématiques et hypothèses axées autour de la simulation numérique pour la formation des professionnels de santé.

Notre première étude consistait en une auto-évaluation des compétences non-techniques d'apprenants sages-femmes à travers plusieurs questionnaires portant sur différentes dimensions. Cette analyse nous a permis d'étudier leur ressenti face à une simulation numérique d'hémorragie du post-partum et plus particulièrement l'évolution de ce ressenti à la suite d'une exposition répétée lors de plusieurs scénarii successifs. L'expérience utilisateur générale, évaluée par le questionnaire SUS, s'est révélée bonne. Nous avons pu mettre en évidence une augmentation du sentiment de leadership et de travail d'équipe au fil des scénarii (questionnaire BAT). Le sentiment de Flow était également croissant, preuve d'une concentration et d'un investissement croissants dans la tâche réalisée. L'expérience s'est révélée stressante pour les participants, mais nous avons cependant constaté une diminution du stress au fil de l'expérimentation. La charge mentale au cours de l'exercice s'est révélée importante dans plusieurs dimensions notamment la demande mentale et l'effort prouvant un investissement important dans la simulation. Une baisse de la dimension de frustration a été constatée au fur et à mesure des exercices ce qui reflète une meilleure maîtrise de l'outil numérique.

Il s'agissait d'un petit effectif d'étudiants amenés à prendre en charge en simulation numérique une situation critique d'hémorragie du post-partum. Nos résultats semblent montrer que la répétition de scénarii augmente l'auto-évaluation par les participants de leurs compétences notamment non-techniques pour prendre en charge cette situation d'urgence. Les simulateurs numériques pourraient aider à développer la capacité des praticiens à faire face à l'inattendu, compétence fondamentale d'une organisation résiliente propice à améliorer la sécurité des patients.

Pour la deuxième partie de l'expérimentation nous avons souhaité approfondir les résultats obtenus en auto-évaluation par une évaluation experte selon une classification couramment utilisée des compétences non-techniques. Il s'agit d'une étude randomisée contrôlée comparant en simulation haute-fidélité les compétences non-techniques d'étudiants sage-femme selon la classification ANTS. Les deux groupes ont été entraînés sur trois scénarii en

simulation numérique, l'un par des scénarii classiques suivis d'un débriefing centré sur les compétences techniques et l'autre par des scénarii conçus pour mobiliser les compétences non-techniques et suivis d'un débriefing des compétences techniques et non-techniques. Cette expérimentation nous a permis de mettre en évidence de meilleurs scores ANTS pour les participants du groupe ayant reçu la formation avec les scénarii spécifiques suivis du débriefing complet. La différence était significative pour le score ANTS total mais également pour chacune des sous catégories. Nous avons également observé plus d'échanges verbaux durant la simulation haute-fidélité pour le groupe entraîné aux compétences non-techniques. Cette étude confirme donc les résultats précédents, cette fois en hétéro-évaluation, suggérant que les compétences non-techniques nécessaires à la prise en charge d'une situation médicale critique peuvent être entraînées en simulation numérique.

Le deuxième article a introduit la problématique du débriefing en simulation numérique. Nous avons effectivement comparé une association scénario/débriefing spécifique à l'entraînement des compétences non-techniques à une association scénario/débriefing plus classique en simulation numérique. Ceci nous a donc orientés vers la seconde expérimentation de ce travail doctoral centrée sur le débriefing en simulation numérique. Notre troisième étude est un essai randomisé contrôlé analysant l'impact du débriefing des compétences techniques et non-techniques intégré au simulateur numérique sur l'acquisition de connaissances et des compétences techniques et non-techniques. Comparés à l'absence de débriefing, nos résultats ont mis en évidence un bénéfice en faveur du débriefing intégré au simulateur sur les compétences non-techniques et sur l'autoévaluation par les participants de leur prise en charge. Ces résultats viennent renforcer le rôle central et majeur du débriefing déjà bien connu quel que soit le type de simulation. Ils ajoutent cependant la dimension du débriefing des compétences non-techniques intégré au simulateur numérique pouvant permettre une progression de ces compétences.

La quatrième étude est basée sur une partie des données de la précédente et s'est focalisée sur l'analyse de la rétention à 2 mois des acquisitions après formation sur simulateur numérique. Nous avons mis en évidence une progression des connaissances, des compétences non-techniques et de l'autoévaluation de leur prise en charge par les participants à 2 mois de la première séance d'entraînement en simulation numérique. Ces résultats appuient donc l'intérêt de la simulation numérique dans la formation des professionnels de santé.

B. Apports théoriques

La simulation numérique en santé a émergé il y a quelques années et a connu un nouvel essor en 2018 avec le déploiement de plusieurs plateformes dédiées en Europe et aux Etats-Unis. Elle se positionne comme l'un des outils de la formation en santé et présente certains avantages adaptés aux contraintes de la formation d'aujourd'hui : à distance, à plusieurs, pouvant se répéter, etc… (voir partie I.C).

Les échanges avec les équipes pédagogiques engagées dans la simulation en santé font ressortir une augmentation de la place de la simulation dans les programmes de formation, le développement de l'apprentissage par compétences, l'enseignement du savoir-être (communication avec le patient, éthique) et des compétences non-techniques. Différentes méthodes de simulation existent et la simulation sur mannequin dite « haute-fidélité » semble remporter l'adhésion de tous. Cependant, celle-ci nécessite des locaux dédiés, un temps libéré pour les apprenants et un temps libéré pour des formateurs qui eux-mêmes doivent avoir reçu une formation préalable.

La simulation numérique devient alors une alternative ou un complément intéressant au sein d'un programme de formation puisqu'elle représente un apport innovant en phase avec les attentes des nouvelles générations. Elle jouit d'une flexibilité d'utilisation et des modalités d'apprentissage, seul ou en groupe, à distance ou en présentiel, tout en préservant le principe d'un environnement sécurisé pour un entraînement immersif et réaliste, propice à l'erreur. La simulation numérique est également moins coûteuse que la simulation haute-fidélité (142).

En formation initiale, la simulation numérique permet d'entraîner les plus jeunes médecins à l'établissement d'un diagnostic, en les mettant en situation, face à un patient et un environnement en trois dimensions reproduisant au mieux la réalité clinique des professionnels, tant sur le plan graphique que cognitif. Les étudiants peuvent ainsi suivre leurs patients virtuels sur plusieurs consultations, effectuer des examens complémentaires, faire un examen clinique et proposer une prise en charge thérapeutique en adéquation avec les résultats perçus ou encore s'exposer à différents scénarii d'une situation d'urgence qu'ils n'auront peut-être pas l'occasion de prendre en charge au cours de leurs études. Ils reçoivent ensuite des retours sur leurs pratiques virtuelles leur permettant de s'autoévaluer ce qui favorise également un apprentissage actif par « essais-erreurs » sans aucun risque pour le patient (170). Dans le cadre des formations continues, il s'agit surtout de maintenir ses

connaissances et rester informé des nouvelles recommandations et thérapeutiques sur une période donnée.

La simulation numérique donne l'opportunité de développer des compétences analytiques, une réflexion stratégique, des connaissances (171), ou encore avec des fonctions multi-joueurs l'apprentissage collaboratif (172).

1. Simulation numérique et compétences non-techniques

a) En autoévaluation

Des travaux de recherche antérieurs sur les environnements virtuels ont montré que l'apprentissage peut être positivement impacté par ce type de technologie. Plusieurs études ont mis en évidence un gain en concentration et en autoévaluation de l'efficacité (152), en confiance en soi (173) ou encore une satisfaction des étudiants à utiliser la simulation numérique avec engagement personnel et une diminution du stress (153). Ces résultats pourraient être liés au développement de la métacognition des apprenants ; apprendre à comprendre comment on apprend de façon à réajuster le cas échéant sa méthode d'apprentissage. Donald A. Schön (174) affirme que les savoirs d'expérience se construisent dans l'analyse réflexive : il convient de conscientiser le processus qui a permis d'aboutir au résultat afin de pouvoir le corriger ou s'en inspirer dans une situation future. Nous avons mis en évidence qu'une exposition répétée à des situations critiques d'hémorragie du post-partum en simulation numérique a amélioré l'autoévaluation des étudiants sages-femmes, en particulier pour le leadership, le travail d'équipe, la gestion des émotions et le « flow ». Les apprenants ont eu un retour très positif sur l'outil. Ils ont exprimé le souhait d'utiliser Perinatsims plus souvent pour être formé à la gestion de l'hémorragie du post-partum.

b) En hétéro-évaluation

Tout d'abord, notre deuxième article a permis de confirmer que des étudiants sages-femmes ou jeunes diplômés arrivent en fin de cursus avec une évaluation assez faible de leurs compétences non-techniques. La plupart de ces étudiants n'avaient jamais reçu d'enseignement spécifique sur les compétences non-techniques et n'avaient jamais réalisé de simulation sur le thème de l'hémorragie du post-partum. La marge de progression observée confirme la nécessité d'intégrer ce type de formation aux cursus des professionnels de santé.

L’acquisition précoce des CNT grâce à un programme de formation dédié est bénéfique dès les premières phases de la carrière d'un professionnel de la santé (175). Une étude récente a même constaté une amélioration des performances cliniques et des résultats associés à une augmentation de confiance en soi après la mise en place d'un programme d'enseignement des CNT en simulation (176).

Plusieurs études ont déjà prouvé la possibilité de travailler certaines compétences non-techniques à travers la simulation numérique : leadership (177), prise de décision (178,179) ou encore la conscience de la situation (180).

Notre objectif était d’évaluer la possibilité d’entraîner les compétences non-techniques en simulation numérique dans le cas précis d’une situation d’urgence : l’hémorragie du post-partum. Comme dans toute autre formation en simulation, l’objectif à la fin du débriefing est d’avoir travaillé les connaissances et l’ensemble des compétences des apprenants. Nous avons mis en évidence qu’un entraînement en simulation numérique à la prise en charge de l’HPP, avec des scénarios dédiés aux CNT et suivis par un débriefing autour des 4 domaines de l’ANTS a conduit à une meilleure performance non-technique en simulation haute-fidélité. Il serait donc possible d’entraîner les compétences non-techniques d’apprenants en simulation numérique de la prise d’une situation d’urgence telle que l’HPP.

En accord avec Weick et Sutcliffe (154), nos résultats suggèrent que ces simulations, en développant la capacité des apprenants à faire face à l'inattendu, seraient pertinentes pour la formation. Cette compétence est une caractéristique fondamentale d'une organisation résiliente. Les algorithmes issus des recommandations nationales peuvent être révisés par les apprenants (délai, estimation de la perte sanguine, rôle de chaque membre de l’équipe...) mais aussi de nombreuses situations imprévues incluses dans les différents scénarii (aide non-disponible, interruption par un membre de la famille…).

2. Simulation numérique et débriefing

Le débriefing est indissociable de la formation par simulation (60,61) avec un impact direct sur les compétences, aptitudes et pratiques des professionnels de santé (62). Comme déjà vu précédemment, il existe différentes méthodes de débriefing : débriefing post ou per simulation, débriefing par le formateur/vidéo/multimédia ou encore auto-débriefing (181,182). Cependant, le débriefing est considéré par beaucoup comme une communication

entre un élève/apprenant et un enseignant après une situation (par exemple, une simulation) et à propos de cette expérience (183). Il ne s'agit pas simplement d'un retour d'information sur la performance, mais d'un processus de communication sur l'impact de l'expérience.

L'un des avantages majeurs de la simulation numérique étant son utilisation autonome (pas besoin d'un formateur en simulation sur place), nous avons étudié l'impact d'un débriefing personnalisé intégré au simulateur numérique sur l'acquisition des compétences, car la simulation numérique aussi n'est qu'un vecteur et l'apprentissage vient du débriefing (184).
Le débriefing en simulation numérique concerne en général plutôt les compétences techniques, sous forme de « feed-backs » au long de la simulation ou d'une analyse des données collectées à la fin du scénario avec comparaison à la prise en charge optimale et rappel des recommandations.

Cependant, une revue des méthodes de débriefing des compétences non-techniques après formation dédiée, a révélé une amélioration égale après diverses méthodes de débriefing: avec un formateur qualifié, un formateur débutant utilisant un script ou encore un débriefing autonome ou débriefing multimédia (185). Nos résultats ont mis en évidence la possibilité et les avantages d'un auto-débriefing des compétences non-techniques à la suite d'une simulation numérique pour améliorer l'apprentissage.

3. Simulation numérique et rétention des apprentissages

La formation par simulation augmente les connaissances et les compétences des apprenants, mais pour combien de temps ? La question de la rétention des connaissances fait encore débat et l'intervalle idéal de répétition des formations demeure incertain (76). La rétention, souvent utilisée pour évaluer la qualité de l'apprentissage, reste un marqueur pertinent. La littérature illustre la grande variabilité de la durée de la rétention selon le type de compétences enseignées ou encore la population d'apprenants comme nous l'avons déjà vu précédemment dans le manuscrit.

Dans le cas des formations à des procédures complexes telles que la prise en charge de l'arrêt cardio-respiratoire, les données récentes révèlent la nécessité d'un entraînement très régulier tous les 3 à 6 mois (186). Une étude récente randomisée a même retrouvé que la fréquence optimale d'entraînement à la réanimation cardio-pulmonaire était d'un mois (187).

La rétention après formation aux compétences non-techniques est peu connue. L'une des théories avancée par Reader pour comprendre le phénomène de rétention après formation en simulation haute-fidélité est la « mémoire épisodique » (188), un phénomène lié à la mémorisation du scénario, à la similarité entre simulation et vie réelle, au débriefing, en évitant les scénarios trop complexes, en introduisant progressivement de nouvelles tâches et en actualisant le contenu des scénarios. Contrairement aux gestes techniques complexes et rares, les compétences non-techniques peuvent être appliquées en contexte clinique après la formation (189). Ainsi, une formation en simulation de 3 jours destinée à des anesthésistes au Rwanda et centrée sur les compétences non-techniques a permis une progression des participants et un maintien des compétences quatre mois après la formation initiale (190).

Qu'en est-il après formation sur simulateur numérique ? La question semble avoir été peu étudiée dans le domaine médical. Un exemple dans l'aviation retrouvait une meilleure rétention des connaissances après formation sur simulateur numérique immersif qu'avec les outils de formation habituels à une semaine (191). Une étude médicale a évalué l'apport de la simulation numérique comparée à un enseignement traditionnel de la physiologie et l'anatomie de la tête et du cou destiné à des étudiants en médecine en 2ème année. La rétention des connaissances évaluée par un questionnaire à six mois était similaire pour les deux groupes avec cependant une progression pour le groupe enseignement traditionnel, non retrouvée pour le groupe simulation numérique (169). Une autre étude récente portant sur des étudiants en soins infirmiers a comparé la rétention de connaissances après formation à la prise en charge d'une détresse respiratoire par un cours de 45 minutes suivi soit d'une simulation numérique soit d'une simulation basse-fidélité. Les résultats ont montré un bénéfice de la simulation numérique sur la rétention des connaissances à deux mois (192).

Dans le domaine de la réanimation néonatale, une revue récente (162) a évalué l'intérêt pédagogique du simulateur numérique RETAIN (REsuscitation TrAINing, Retain Labs Medical Inc., Edmonton, AB, Canada), outil pédagogique complémentaire à la formation traditionnelle NRP (Neonatal Resuscitation Program). L'une des études reprises dans cette revue (193) avait comme objectif l'analyse de la rétention des connaissances. Les résultats ont mis en évidence un gain de 10 % de connaissances, évaluées à travers un scénario écrit, immédiatement après la formation.

Les nouveautés apportées par notre travail en simulation numérique de la prise en charge d'une réanimation néonatale sont donc le délai de rétention porté à deux mois, mais également

la mise en évidence d'une rétention non seulement des connaissances, mais aussi des compétences non-techniques évaluées par hétéro-évaluation experte.

C. Limites du travail

Ce travail de recherche présente plusieurs limites dont certaines sont souvent retrouvées dans le domaine de la recherche en simulation, pouvant rendre difficile l'analyse et la généralisation des résultats. Nous allons détailler les principales limites et/ou obstacles auxquels nous avons été confrontés.

1. Méthodologie

Dans ce travail doctoral, nous nous sommes intéressés à l'intérêt pédagogique de simulateurs numériques pour la formation des professionnels de santé. Plusieurs revues de la littérature existent sur le sujet et ont tenté de définir un cadre méthodologique pertinent pour élargir les connaissances (144–146,194–196). D'après la plus récente de ces revues (146), les études portent souvent sur de faibles effectifs. Les critères d'évaluation concernent majoritairement les connaissances, les « compétences » ou la satisfaction des participants. La simulation numérique est principalement comparée aux méthodes traditionnelles d'enseignement. La plupart des études sont considérées comme à haut risque de biais : de sélection, dans la procédure d'aveugle, dans la randomisation ou encore dans la communication des données. Cette revue, comme les précédentes, semble mettre en évidence un bénéfice de la simulation numérique sur les connaissances et de façon plus hétérogène sur les « compétences ». De nombreux points restent cependant à éclaircir. Peu d'études s'intéressent aux changements d'attitudes chez les apprenants ou au bénéfice pour le patient (Kirkpatrick 3 ou 4). Aucune étude n'a analysé l'intérêt de la combinaison de différentes méthodes pédagogiques (simulation numérique associée à d'autres méthodes dans le cadre de programmes de formation), ni l'intérêt de sessions répétées ou de programmes d'auto-entraînement avec des objectifs à atteindre. Aucune étude n'a évalué la question du transfert des compétences acquises à d'autres situations, même simulées.

Dans notre travail, les deux études portent sur de faibles effectifs. Les critères de jugement sont multiples, mais concernent les compétences, les connaissances et la satisfaction. Seule l'évaluation des étudiants en simulation haute-fidélité peut s'apparenter à un changement

d’attitude puisque l’évaluation en contexte réel de la prise en charge d’une d’hémorragie du post-partum n’est pas réalisable compte tenu du caractère imprévisible et urgent de la situation.

2. La notion de « compétences techniques et non-techniques »

Dans les deux études menées dans ce travail doctoral ; l’évaluation des compétences s’est faite en suivant la classique dichotomie compétences techniques/compétences non-techniques. Cette vision présente des limites et est actuellement controversée (197,198).

Il existe de nombreuses définitions des « compétences non-techniques comme cela a déjà été vu précédemment en introduction de ce travail. Pour reprendre celle du dictionnaire de simulation de la « Society for Simulation in Healthcare (SSH) » les compétences non-techniques dans le domaine de la santé sont les compétences de communication, leadership, travail d'équipe, conscience de la situation, prise de décision, gestion des ressources, pratique sécuritaire, minimisation/atténuation des événements indésirables et professionnalisme (80). Les définitions des compétences techniques sont moins nombreuses, le même dictionnaire les définit comme les connaissances, les compétences et la capacité d'accomplir une tâche médicale spécifique ; par exemple, insérer un drain thoracique ou effectuer un examen physique.

L’opposition terminologique entre les deux types de compétences entretient la confusion puisque chacune des compétences techniques ou non-techniques a son importance dans la pratique médicale, nécessite de l’entraînement et peut s’évaluer. Les compétences non-techniques telles que la communication, la prise de décision, la conscience de la situation sont même inextricablement liées aux autres éléments de la pratique médicale. Plusieurs outils d’évaluation des compétences non-techniques ont été publiés en chirurgie et anesthésie (22,23,199). Ces outils sont basés sur l'utilisation de marqueurs comportementaux de compétences observables qui impliquent que les connaissances et les compétences soient appliquées de manière similaire aux évaluations des compétences procédurales ou techniques (200). Ces instruments définissent des catégories de comportements utiles, puis caractérisent les compétences dans des contextes cliniques spécifiques. Des programmes de formation destinés à apprendre aux évaluateurs à utiliser les instruments sont recommandés, car il existe en effet des éléments « techniques» associés à l'application des mesures en termes de contenu et de méthodologie.

L'enseignement et l'évaluation séparés des compétences techniques et non-techniques sont classiques. La plupart des travaux de recherche se concentrent également sur l'une ou l'autre des compétences. Le travail de Riem *et al.* (201) a mis en évidence une corrélation entre compétences techniques et non-techniques. Une bonne performance dans l'un des domaines avait tendance à révéler une performance équivalente dans l'autre, des résultats similaires étant observés en cas de mauvaise performance. Ainsi, assez logiquement, un entraînement aux compétences non-techniques améliorera la performance technique par diminution des erreurs ou encore meilleure conscience de la situation.

Ainsi, la terminologie utilisée aussi bien pour l'enseignement que la recherche doit toujours être bien définie et le terme de compétences comportementales éventuellement préféré à celui de compétences non-techniques pour éviter toute forme d'opposition entre ces compétences complémentaires dans toutes situations médicales. La nature du lien et l'orientation de l'association des compétences techniques et non-techniques restent un sujet à explorer.

3. Les outils d'évaluation des compétences non-techniques

Une autre limite à laquelle nous avons été confrontés était le choix de l'outil pour évaluer les compétences non-techniques. En effet, plusieurs outils ont été proposés pour l'évaluation des compétences non-techniques d'une catégorie professionnelle particulière (anesthésiste (22), chirurgien (23,199), infirmier de bloc opératoire (24)) ou dans une situation clinique particulière (évaluation d'une équipe des urgences lors de la réanimation d'un arrêt cardiaque (25)). Dans le domaine de l'obstétrique, une revue récente a analysé et comparé les outils disponibles pour l'évaluation du travail d'équipe et a retrouvé 6 échelles, mais les preuves restent très limitées concernant leur utilisabilité (202). Une étude similaire en anesthésie a retrouvé 7 échelles d'évaluation des compétences non-techniques en situation clinique et en simulation (203). L'ANTS est l'outil qui a été le plus étudié et semble avoir fait preuve de sa validité. Aucun outil spécifique n'existe pour évaluer les compétences non-techniques des sages-femmes lors d'une situation d'urgence obstétricale.

a) Construction de la check-list HPP

Au début de ce travail doctoral, nous avons envisagé de construire un nouvel outil d'évaluation des compétences non-techniques pour l'urgence obstétricale. Ce projet, qui a

donné lieu à une communication au congrès européen de simulation (SESAM 2018), n'a finalement pas été publié, mais voici la méthodologie que nous avions suivie :

(1) Phase 1 : Revue de littérature et analyse vidéo

Pour réaliser notre check-list, nous avons analysé 12 méthodes d'évaluation des CNT issues du domaine médical (Figure 14). Ces méthodes identifient des marqueurs comportementaux et/ou des processus mentaux à l'intérieur de chaque CNT.

	SITUATION AWARENESS	DECISION MAKING	COMMUNICATION	COLLABORATIVE WORK	LEADERSHIP/FOLLOWERSHIP	RESOURCES MANAGEMENT	EMOTION MANAGEMENT
Flin, O'Connor & Crichton (2008)	X	X	X	X	X		X
NOTSS (Yule & al., 2006)	X	X	X	X	X		
NOTECHS (Sevdalis & al., 2008)	X	X	X	X	X		
OTAS (Hull & al., 2011)	X		X	X	X		
OSCAR (Walker & al., 2011)	X	X	X	X	X		
TEAM (Cooper, & al., 2010)			X	X			
Baldwin, Paisley & Brown (1999)			X	X	X		
ANTS (Flin, & al., 2003)	X	X		X			
OTTAWA (Kim & al., 2006)	X	X	X		X	X	
MAYO (Malec & al., 2007)	X		X		X		
CTS (Guise & al., 2008)	X	X	X		X	X	
GAOTP/AOTP (Tregunno & al., 2009)	X	X	X		X	X	

Figure 14 : Revue de littérature des méthodes d'évaluation des CNT du domaine médical sélectionnées pour notre analyse (la croix représente la présence ou non de chaque compétence au regard de la méthode sélectionnée).

Cependant, chaque activité médicale étant spécifique, ces méthodes et les formulations résultantes, ne permettent pas d'évaluer de manière précise et pertinente les CNT lors d'une urgence obstétricale. De plus, ces grilles se limitent souvent à une spécialité en particulier (ex: chirurgien ou anesthésiste), alors que notre activité est pluridisciplinaire (sage-femme, anesthésiste, infirmier et gynécologue). Nous avons extrait de ces méthodes l'ensemble des marqueurs comportementaux que nous avons confronté à l'analyse de 10 vidéos de formation à l'HPP sur mannequins haute-fidélité. Cette analyse nous a permis de générer 114 marqueurs comportementaux et/ou processus mentaux, répertoriés dans 6 catégories de CNT : conscience de la situation ; prise de décision ; travail collaboratif ; communication ; leadership/followership et gestion des émotions.

(2) Phase 2 : Questionnaire d'évaluation par les experts

L'ensemble des 114 items a été intégré dans un questionnaire afin que des experts du domaine les évaluent. Chaque marqueur était évalué sur une échelle de Likert en 4 points. Deux catégories d'experts ont été sélectionnées, les formateurs et les praticiens. Chaque spécialité était également représentée : sages-femmes, obstétriciens, anesthésistes et infirmiers en maternité. L'objectif de ce questionnaire était de valider la pertinence des marqueurs comportementaux et des processus mentaux que nous avons identifiés à partir de la phase précédente. Ce questionnaire a été envoyé électroniquement à 67 personnes, nous avons eu un retour de 30 % environ (n=23).

Il ressort de ces questionnaires que 69 items ont été évalués par les répondants comme très importants, 36 comme importants et 6 comme moyennement/peu importants. Nous avons mis en évidence des différences significatives sur l'importance attachée à chaque élément en fonction de la spécialité, mais également en fonction de l'aspect pédagogique (formateurs ou non en simulation).

L'index de validité du contenu (204) a été utilisé pour identifier la pertinence des items sélectionnés ; 111 ont finalement été retenus.

(3) Phase 3 : Validation de l'outil

Nous avons testé la check-list en simulation haute-fidélité. Onze experts (sages-femmes, anesthésistes et obstétriciens) ont utilisé l'instrument sur deux vidéos de simulation haute-fidélité d'HPP. L'évaluation comprenait 2 parties : évaluation de la présence ou l'absence de chaque item et score global de chaque catégorie de CNT. La check-list comportait deux colonnes, la première dédiée à la spécialité et la seconde dédiée à l'équipe. Nous avons sélectionné deux vidéos de simulation haute-fidélité d'HPP, l'une impliquant des apprenants ayant de « bonnes » compétences non-techniques ; la seconde impliquant des apprenants avec de moins bonnes CNT (évalué par un autre expert à l'avance). L'évaluation a été réalisée en trois étapes :

- Les experts en simulation de chaque profession ont évalué les 2 vidéos en utilisant notre check-list.
- Ils ont également été invités à évaluer la première vidéo avec un autre outil, OTAS ou ANTS.
- Ensuite, après une période de deux mois, les experts ont été invités à réévaluer, avec notre check-list la deuxième vidéo. Nous avons analysé la pertinence de l'instrument

avec un coefficient de corrélation sur la fiabilité test-retest et la validité concurrente. Enfin, la fiabilité inter-évaluateur a été évaluée avec un Cohen et Fleiss Kappa.

La fiabilité test-retest indique une corrélation élevée. Le Kappa de Cohen utilisé pour évaluer les concordances entre les évaluateurs varie de raisonnable à fort, et le Fleiss Kappa est considéré comme raisonnable. Concernant la validité concurrente, une corrélation positive a été trouvée entre la check-list HPP et l'OTAS.

Cette check-list étant d'utilisation difficile ; ce n'est pas l'outil que nous avons retenu pour la suite de nos expérimentations.

b) Choix de notre outil d'évaluation

Aucun outil existant n'étant spécifique à l'évaluation des sages-femmes, nous avons choisi d'utiliser l'ANTS (22). Boet *et al.* rapportent dans une revue récente (203) que pour l'évaluation des compétences non-techniques des anesthésistes, l'ANTS est l'outil le plus fréquemment utilisé, mais également celui qui a été le plus étudié (205–212). L'ANTS a également été utilisé pour des situations n'impliquant pas des anesthésistes : évaluation des compétences non-techniques d'étudiants en médecine en simulation (213), évaluation des compétences non-techniques de sages-femmes lors de la réanimation du nouveau-né dans un pays en voie de développement (214).

c) Pour la suite

De nombreux outils d'évaluation des CNT existent donc, mais les limites sont nombreuses. Peu d'outils ont réellement fait la preuve de leur validité interne et externe, ou encore de leur cohérence et de leur capacité à mesurer avec précision les compétences non-techniques. Les conclusions des différentes revues de littérature sur le sujet incitent à suivre des recommandations méthodologiques robustes aussi bien pour la construction des outils que pour leur évaluation (215,216). Faut-il continuer à développer de nouveaux outils ou plutôt s'attacher à prouver la validité des outils existants voire développer des versions adaptées aux différentes situations ou aux évolutions des pratiques ? Par exemple, un outil d'évaluation des compétences non-techniques des chirurgiens a été développé du point de vue du patient (217) pour répondre à la nécessité actuelle d'une médecine centrée sur le patient.

De plus, les outils d'évaluation des CNT ont été développés pour une utilisation en simulation haute-fidélité ou en contexte clinique. Il n'existe actuellement aucune échelle d'évaluation des compétences non-techniques adaptée à la simulation numérique. Lors de notre première expérimentation, l'évaluation du critère de jugement principal se faisait sur l'analyse vidéo des séances de simulation haute-fidélité, mais lors de la deuxième expérimentation nous avons évalué les compétences non-techniques des participants sur les vidéos des scénarii de simulation numérique. Nous avons alors pu constater les limites de l'outil (ANTS) pour l'évaluation des CNT en simulation numérique. Les marqueurs comportementaux et les processus mentaux sont différemment exprimés lors d'une situation réelle que devant un écran en cliquant sur une souris. Le développement d'un outil spécifique parait indispensable pour poursuivre le travail d'analyse objective des compétences non-techniques en simulation numérique.

D. Ouverture : conception de simulateurs numériques, place de la simulation numérique dans les cursus de formation

1. Place de la simulation numérique dans les cursus de formation

Ce travail doctoral semble confirmer l'intérêt de la simulation numérique dans le cursus de formation aussi bien initial que continu des professionnels de santé. Le retour des utilisateurs est très positif et des bénéfices ont été mis en évidence sur les connaissances et les compétences, notamment non-techniques, sujet de cette thèse.

Sa place exacte reste à définir. La formation par la simulation est en plein essor actuellement en France. De plus en plus présente en formation initiale, mais encore peu en formation continue. Les besoins en personnel et en locaux pour la simulation haute-fidélité sont très importants et ne permettent pas d'effectuer autant de formations que nécessaire. La place de la simulation numérique est donc probablement là. En complément des autres formes de simulation proposées tout au long des cursus de formation, en utilisation autonome par les étudiants. Les débriefings intégrés et les différents feed-backs peuvent permettre d'envisager des parcours pédagogiques personnalisés avec des objectifs et des marqueurs de progression.

2. Conception des simulateurs numériques

Les pistes de développement appuyées par cette thèse sont la nécessité de travailler sur les feed-backs et sur le débriefing en intégrant systématiquement une partie sur les compétences non-techniques. Les deux volets ont une grande marge de progression. Les feed-backs peuvent intervenir au cours de la simulation (permettant par exemple différents niveaux de difficulté en fonction de l'aide apportée), certaines actions non réalisées pourraient être bloquantes et arrêter le scénario (par exemple pour l'HPP, un participant qui ne regarde pas les pertes sanguines ou l'état du globe utérin pendant un trop long laps de temps). Le développement de l'intelligence artificielle pourra offrir de nombreuses possibilités de développement dans un avenir proche et démultiplier les stratégies de parcours de formation initiale et continue.

3. Stratégie de recherche

Les stratégies de recherche future dans le domaine de la simulation numérique devront s'astreindre à une méthodologie très stricte afin d'augmenter la comparabilité entre les différents outils de simulation et mieux définir l'intérêt de chacun avec une place prépondérante pour la question de la rétention qui demeure actuellement floue. Restent également les questions du lien entre compétences techniques et non-techniques ou encore la variabilité interindividuelle pour l'apprentissage et la rétention des CNT (liée à des dispositions individuelles ?).

Les projets futurs devraient également mettre en avant les objectifs de modification des pratiques dans la vie réelle et la question du bénéfice pour le patient.

V. Conclusion

A l'heure où l'enseignement par simulation pour les professionnels de santé est en plein développement, en parallèle de la prise de conscience de l'importance des compétences non-techniques et de leur enseignement pour améliorer les prises en charges et la sécurité des patients, ce travail apporte quelques réponses sur la place potentielle de la simulation numérique. Celle-ci semble permettre une progression des connaissances et compétences techniques et non-techniques, assez durable dans le temps. Les développeurs devraient intégrer les compétences non-techniques dans les objectifs pédagogiques des simulateurs numériques en travaillant sur les retours pour les apprenants sous forme de feed-backs et de débriefing. La simulation numérique pourrait alors être une alternative ou plutôt un complément aux autres techniques de simulation au sein de parcours de formation des professionnels de santé.

VI. Bibliographie

1. Pascale Carayon. Handbook of Human Factors and Ergonomics in Health Care and Patient Safety. Boca Raton; 2006.

2. Institute of Medicine (US) Committee on Quality of Health Care in America. To Err is Human: Building a Safer Health System. Kohn LT, Corrigan JM, Donaldson MS, éditeurs. Washington (DC): National Academies Press (US); 2000.

3. Bagnara S, Parlangeli O, Tartaglia R. Are hospitals becoming high reliability organizations? Appl Ergon. sept 2010;41(5):713-8.

4. Michel, P., Lathelize, M., Quenon, J. L., Bru-Sonnet, R., Domecq, S., & Kret, M. Comparaison des deux Enquêtes Nationales sur les Événements Indésirables graves associés aux Soins menées en 2004 et 2009. Rapport final à la DREES. 2011.

5. Amalberti, R., & Hourlier, S. Human error reduction strategies in Health Care. In P. Carayon (Ed.), Handbook of Human Factors and Ergonomics in Health Care and Patient Safety (pp. 561-577). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates. In 2007.

6. Carayon, P. Human factors in patient safety as an innovation. Applied Ergonomics, 41(5), 657-665. 2010;

7. Reason J. Human error: models and management. BMJ. 18 mars 2000;320(7237):768-70.

8. Reason JT, Carthey J, de Leval MR. Diagnosing « vulnerable system syndrome »: an essential prerequisite to effective risk management. Qual Health Care QHC. déc 2001;10 Suppl 2:ii21-25.

9. Grille ALARM, un outil pour structurer l'analyse des causes. Haute Autorité de Santé. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/jcms/c_1215806/fr/grille-alarm-un-outil-pour-structurer-l-analyse-des-causes.

10. Daele AV, Ameur LA. Gestion des erreurs et des risques dans l'aide médicale urgente. Trav Hum. 22 déc 2010;Vol. 73(4):299-318.

11. Amalberti R. La conduite de systèmes à risques.

12. Marc J, Amalberti R. Contribution individuelle à la sécurité du collectif : l'exemple de la régulation du SAMU. Trav Hum. 2002;Vol. 65(3):217-42.

13. Leplat J. Resilience engineering. Concepts and precepts de Hollnagel, Woods et Leveson. Perspect Interdiscip Sur Trav Santé. 1 oct 2007;(9-2).

14. Hollnagel.Fromsafety1tosafety2.pdf. https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/2437.pdf

15. Boet, S., & Savoldelli, G. Simulation et compétences non-techniques. In La simulation en santé : de la théorie à la pratique (pp. 151-160). Springer Paris. 2013.

16. Flin, R. H., O'Connor, P., & Crichton, M. Safety at the sharp end: a guide to non-technical skills. Ashgate Publishing. 2008.

17. Flin R, Maran N. Basic concepts for crew resource management and non-technical skills. Best Pract Res Clin Anaesthesiol. mars 2015;29(1):27-39.

18. Flin R, Maran N. Identifying and training non-technical skills for teams in acute medicine. Qual Saf Health Care. oct 2004;13 Suppl 1:i80-84.

19. Flin R, Patey R, Glavin R, Maran N. Anaesthetists' non-technical skills. Br J Anaesth. juill 2010;105(1):38-44.

20. Tavares W, Boet S, Theriault R, Mallette T, Eva KW. Global rating scale for the assessment of paramedic clinical competence. Prehospital Emerg Care Off J Natl Assoc EMS Physicians Natl Assoc State EMS Dir. mars 2013;17(1):57-67.

21. Kim J, Neilipovitz D, Cardinal P, Chiu M, Clinch J. A pilot study using high-fidelity simulation to formally evaluate performance in the resuscitation of critically ill patients: The University of Ottawa Critical Care Medicine, High-Fidelity Simulation, and Crisis Resource Management I Study. Crit Care Med. août 2006;34(8):2167-74.

22. Fletcher G, Flin R, McGeorge P, Glavin R, Maran N, Patey R. Anaesthetists' Non-Technical Skills (ANTS): evaluation of a behavioural marker system. Br J Anaesth. mai 2003;90(5):580-8.

23. Yule S, Flin R, Paterson-Brown S, Maran N, Rowley D. Development of a rating system for surgeons' non-technical skills. Med Educ. nov 2006;40(11):1098-104.

24. Mitchell, L., & Flin, R. Scrub practitioners' list of intra-operative nontechnical skills-SPLINTS. In Safer Surgery: Analysing Behaviour in the Operating Theatre. Farnham (pp. 67-81). In 2009.

25. Cooper S, Cant R, Porter J, Sellick K, Somers G, Kinsman L, et al. Rating medical emergency teamwork performance: development of the Team Emergency Assessment Measure (TEAM). Resuscitation. avr 2010;81(4):446-52.

26. Mishra A, Catchpole K, McCulloch P. The Oxford NOTECHS System: reliability and validity of a tool for measuring teamwork behaviour in the operating theatre. Qual Saf Health Care. avr 2009;18(2):104-8.

27. Endsley MR, Kaber DB. Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. Ergonomics. mars 1999;42(3):462-92.

28. Klein G. Naturalistic decision making. Hum Factors. juin 2008;50(3):456-60.

29. Kanki BG, Palmer MT. Communication and crew resource management. In: Cockpit resource management. San Diego, CA, US: Academic Press; 1993. p. 99-136.

30. Neyns V. Les modalités du contrôle cognitif en situation dynamique: anticipation et gestion des dérives. Le cas de l'anesthésie. :242.

31. Müller M, Jürgens J, Redaèlli M, Klingberg K, Hautz WE, Stock S. Impact of the communication and patient hand-off tool SBAR on patient safety: a systematic review. BMJ Open. 1 août 2018;8(8):e022202.

32. Torrelles Nadal C, Paris Mañas G, Sabrià Bernadó B, Alsinet Mora C. Assessing teamwork competence. Psicothema. 2015;27(4):354-61.

33. Guimond ME, Sole ML, Salas E. TeamSTEPPS. Am J Nurs. nov 2009;109(11):66-8.

34. Keebler JR, Dietz AS, Lazzara EH, Benishek LE, Almeida SA, Toor PA, et al. Validation of a teamwork perceptions measure to increase patient safety. BMJ Qual Saf. sept 2014;23(9):718-26.

35. Aviationplusautomatique,interconnectée,àl'horizon2050.pdf https://academieairespace.com/wp-content/uploads/2018/07/Les-Livrets-Web.pdf

36. Howard SK, Gaba DM, Smith BE, Weinger MB, Herndon C, Keshavacharya S, et al. Simulation study of rested versus sleep-deprived anesthesiologists. Anesthesiology. juin 2003;98(6):1345-55; discussion 5A.

37. Jones DG, Endsley MR. Sources of situation awareness errors in aviation. Aviat Space Environ Med. juin 1996;67(6):507-12.

38. Schaefer HG, Helmreich RL, Scheidegger D. Human factors and safety in emergency medicine. Resuscitation. déc 1994;28(3):221-5.

39. Riley W, Davis S, Miller K, Hansen H, Sainfort F, Sweet R. Didactic and simulation nontechnical skills team training to improve perinatal patient outcomes in a community hospital. Jt Comm J Qual Patient Saf. août 2011;37(8):357-64.

40. Phipps MG, Lindquist DG, McConaughey E, O'Brien JA, Raker CA, Paglia MJ. Outcomes from a labor and delivery team training program with simulation component. Am J Obstet Gynecol. janv 2012;206(1):3-9.

41. Boet S, Granry J-C, Savoldelli G. La simulation en santé: De la théorie à la pratique. Springer Science & Business Media; 2013. 439 p.

42. Fung L, Boet S, Bould MD, Qosa H, Perrier L, Tricco A, et al. Impact of crisis resource management simulation-based training for interprofessional and interdisciplinary teams: A systematic review. J Interprof Care. 2015;29(5):433-44.

43. Noy YI, Karwowski W. Handbook of Human Factors in Litigation. CRC Press; 2004. 1031 p.

44. Nguyen N, Elliott JO, Watson WD, Dominguez E. Simulation Improves Nontechnical Skills Performance of Residents During the Perioperative and Intraoperative Phases of Surgery. J Surg Educ. oct 2015;72(5):957-63.

45. Granry JC, Moll MC. Rapport de Mission. État de l'art (national et international) en matière de simulation dans le domaine de la santé. Dans le cadre du développement professionnel continu (DPC) et de la prévention des risques associés aux soins. Saint-Denis La Plaine: HAS; 2012.

46. Dehaene S. Apprendre !: Les talents du cerveau, le défi des machines. Odile Jacob; 2018. 371 p.

47. Petersen SE, Posner MI. The attention system of the human brain: 20 years after. Annu Rev Neurosci. 2012;35:73-89.

48. Freeman S, Eddy SL, McDonough M, Smith MK, Okoroafor N, Jordt H, et al. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. Proc Natl Acad Sci U S A. 10 juin 2014;111(23):8410-5.

49. Knill DC, Pouget A. The Bayesian brain: the role of uncertainty in neural coding and computation. Trends Neurosci. déc 2004;27(12):712-9.

50. Kluger AN, DeNisi A. The effects of feedback interventions on performance: A historical review, a meta-analysis, and a preliminary feedback intervention theory. Psychol Bull. mars 1996;119(2):254-84.

51. McGaugh JL. The perseveration-consolidation hypothesis: Mueller and Pilzecker, 1900. Brain Res Bull. déc 1999;50(5-6):445-6.

52. McGaugh JL. Memory--a century of consolidation. Science. 14 janv 2000;287(5451):248-51.

53. Froyen DJW, Bonte ML, van Atteveldt N, Blomert L. The long road to automation: neurocognitive development of letter-speech sound processing. J Cogn Neurosci. mars 2009;21(3):567-80.

54. Shadmehr R, Holcomb HH. Neural correlates of motor memory consolidation. Science. 8 août 1997;277(5327):821-5.

55. Boet S, Borges BCR, Naik VN, Siu LW, Riem N, Chandra D, et al. Complex procedural skills are retained for a minimum of 1 yr after a single high-fidelity simulation training session. Br J Anaesth. oct 2011;107(4):533-9.

56. Moulton C-AE, Dubrowski A, Macrae H, Graham B, Grober E, Reznick R. Teaching surgical skills: what kind of practice makes perfect?: a randomized, controlled trial. Ann Surg. sept 2006;244(3):400-9.

57. Betz R, Ghuysen A, D'Orio V. [The current state of simulation in medical education]. Rev Med Liege. mars 2014;69(3):132-8.

58. Burkhardt, J. M., Lourdeaux, D., & Mellet-d'Huart. La conception des environnements virtuels d'apprentissage. In Ph. Fuchs & G. Moreau. Le traité de la réalité virtuelle (Tome 2), pp 207-2 6. In.

59. Pastré Pierre. Apprendre par la simulation. Octarès Editions. Toulouse; 2005.

60. Shinnick MA, Woo M, Horwich TB, Steadman R. Debriefing: The Most Important Component in Simulation? Clin Simul Nurs. 1 mai 2011;7(3):e105-11.

61. Fanning RM, Gaba DM. The role of debriefing in simulation-based learning. Simul Healthc J Soc Simul Healthc. 2007;2(2):115-25.

62. Cant RP, Cooper SJ. The benefits of debriefing as formative feedback in nurse education. Aust J Adv Nurs. nov 2011;29(1):37.

63. McGaghie WC, Issenberg SB, Petrusa ER, Scalese RJ. A critical review of simulation-based medical education research: 2003-2009. Med Educ. janv 2010;44(1):50-63.

64. Barré J, Michelet D, Truchot J, Jolivet E, Recanzone T, Stiti S, et al. Virtual Reality Single-Port Sleeve Gastrectomy Training Decreases Physical and Mental Workload in Novice Surgeons: An Exploratory Study. Obes Surg. 2019;29(4):1309-16.

65. Miller D, Crandall C, Washington C, McLaughlin S. Improving teamwork and communication in trauma care through in situ simulations. Acad Emerg Med Off J Soc Acad Emerg Med. mai 2012;19(5):608-12.

66. Lighthall GK, Poon T, Harrison TK. Using in situ simulation to improve in-hospital cardiopulmonary resuscitation. Jt Comm J Qual Patient Saf. mai 2010;36(5):209-16.

67. Mondrup F, Brabrand M, Folkestad L, Oxlund J, Wiborg KR, Sand NP, et al. In-hospital resuscitation evaluated by in situ simulation: a prospective simulation study. Scand J Trauma Resusc Emerg Med. 6 oct 2011;19:55.

68. Sørensen JL, van der Vleuten C, Rosthøj S, Østergaard D, LeBlanc V, Johansen M, et al. Simulation-based multiprofessional obstetric anaesthesia training conducted in situ versus off-site leads to similar individual and team outcomes: a randomised educational trial. BMJ Open. 6 oct 2015;5(10):e008344.

69. Cheng A, Eppich W, Grant V, Sherbino J, Zendejas B, Cook DA. Debriefing for technology-enhanced simulation: a systematic review and meta-analysis. Med Educ. juill 2014;48(7):657-66.

70. Fraser KL, Meguerdichian MJ, Haws JT, Grant VJ, Bajaj K, Cheng A. Cognitive Load Theory for debriefing simulations: implications for faculty development. Adv Simul Lond Engl. 2018;3:28.

71. Ali AA, Miller ET. Effectiveness of Video-Assisted Debriefing in Health Education: An Integrative Review. J Nurs Educ. 1 janv 2018;57(1):14-20.

72. Chauvin A, Truchot J, Bafeta A, Pateron D, Plaisance P, Yordanov Y. Randomized controlled trials of simulation-based interventions in Emergency Medicine: a methodological review. Intern Emerg Med. 2018;13(3):433-44.

73. Johnston S, Coyer FM, Nash R. Kirkpatrick's Evaluation of Simulation and Debriefing in Health Care Education: A Systematic Review. J Nurs Educ. 1 juill 2018;57(7):393-8.

74. Kopta JA. The Development of Motor Skills in Orthopaedic Education. Clin Orthop Relat Res. avr 1971;75:80–85.

75. Cook DA, Hatala R, Brydges R, Zendejas B, Szostek JH, Wang AT, et al. Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis. JAMA. 7 sept 2011;306(9):978-88.

76. Kelly A, Darren L, Nitan G, Anthony C, Agata D, Benjamin W, et al. Improving Skills Retention after Advanced Structured Resuscitation Training: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials. Resuscitation. 27 mars 2019;

77. Alvarez J, Michaud L. Serious games. Advergaming, edugaming, training and more. Fr IDATE. 2008;

78. Jeu sérieux. éduscol, le site des professionnels de l'éducation. Disponible sur: https://eduscol.education.fr/numerique/dossier/apprendre/jeuxserieux/notion/definitions/jeu-serieux.

79. Bergeron B. Developing serious games. Hingham, MA: Charles River Media; 2006.

80. Healthcare simulation dictionary. https://www.ahrq.gov/sites/default/files/publications/files/sim-dictionary.pdf

81. Sitzmann T. A meta-analytic examination of the instructional effectiveness of computer-based simulation games. Pers Psychol. 2011;64(2):489–528.

82. Dehaene S. Origins of Mathematical Intuitions: The Case of Arithmetic. Ann N Y Acad Sci. mars 2009;1156(1):232-59.

83. Pashler H, McDaniel M, Rohrer D, Bjork R. Learning Styles: Concepts and Evidence. Psychol Sci Public Interest. 2008;9(3):105-19.

84. Cohard P. L'apprentissage dans les serious games : proposition d'une typologie. @GRH. 2015;16(3):11-40.

85. Drummond D, Hadchouel A, Tesnière A. Serious games for health: three steps forwards. Adv Simul. 4 févr 2017;2(1):3.

86. Alfieri L, Brooks PJ, Aldrich NJ, Tenenbaum HR. Does discovery-based instruction enhance learning? J Educ Psychol. 2011;103(1):1-18.

87. Rivers RH, Vockell E. Computer simulations to stimulate scientific problem solving. J Res Sci Teach. 1987;24(5):403-15.

88. Wouters P, van Oostendorp H. A meta-analytic review of the role of instructional support in game-based learning. Comput Educ. janv 2013;60(1):412-25.

89. Leutner D. Guided discovery learning with computer-based simulation games: Effects of adaptive and non-adaptive instructional support. Learn Instr. 1 janv 1993;3(2):113-32.

90. Taylor PJ, Russ-Eft DF, Chan DWL. A meta-analytic review of behavior modeling training. J Appl Psychol. juill 2005;90(4):692-709.

91. Alam F, Boet S, Piquette D, Lai A, Perkes CP, LeBlanc VR. E-learning optimization: the relative and combined effects of mental practice and modeling on enhanced podcast-

based learning—a randomized controlled trial. Adv Health Sci Educ. 1 oct 2016;21(4):789-802.

92. Shute VJ. Focus on Formative Feedback. Rev Educ Res. mars 2008;78(1):153-89.

93. Johnson CI, Bailey SK, Van Buskirk WL. Designing effective feedback messages in serious games and simulations: a research review. In: Instructional techniques to facilitate learning and motivation of serious games. Springer; 2017. p. 119–140.

94. Ginns P. Meta-analysis of the modality effect. Learn Instr. 1 août 2005;15(4):313-31.

95. Fiorella L, Vogel-Walcutt JJ, Schatz S. Applying the modality principle to real-time feedback and the acquisition of higher-order cognitive skills. Educ Technol Res Dev. 1 avr 2012;60(2):223-38.

96. Moreno R, Mayer RE, Spires HA, Lester JC. The Case for Social Agency in Computer-Based Teaching: Do Students Learn More Deeply When They Interact With Animated Pedagogical Agents? Cogn Instr. juin 2001;19(2):177-213.

97. Mayer RE, DaPra CS. An embodiment effect in computer-based learning with animated pedagogical agents. J Exp Psychol Appl. 2012;18(3):239-52.

98. Atkinson RK, Mayer RE, Merrill MM. Fostering social agency in multimedia learning: Examining the impact of an animated agent's voice. Contemp Educ Psychol. 1 janv 2005;30(1):117-39.

99. Kulik JA, Kulik C-LC. Timing of Feedback and Verbal Learning. Rev Educ Res. 1 mars 1988;58(1):79-97.

100. Katz B, Jaeggi S, Buschkuehl M, Stegman A, Shah P. Differential effect of motivational features on training improvements in school-based cognitive training. Front Hum Neurosci. 2014;8:242.

101. Wood D, Bruner JS, Ross G. The Role of Tutoring in Problem Solving. J Child Psychol Psychiatry. 1976;17(2):89-100.

102. Barzilai S, Blau I. Scaffolding game-based learning: Impact on learning achievements, perceived learning, and game experiences. Comput Educ. janv 2014;70:65-79.

103. Chen C-H, Law V. Scaffolding individual and collaborative game-based learning in learning performance and intrinsic motivation. Comput Hum Behav. 1 févr 2016;55:1201-12.

104. Prince M. Does Active Learning Work? A Review of the Research. J Eng Educ. juill 2004;93(3):223-31.

105. Roediger HL, Karpicke JD. The Power of Testing Memory: Basic Research and Implications for Educational Practice. Perspect Psychol Sci. sept 2006;1(3):181-210.

106. Karpicke JD, Butler AC, Roediger III HL. Metacognitive strategies in student learning: Do students practise retrieval when they study on their own? Memory. avr 2009;17(4):471-9.

107. Habgood MPJ, Ainsworth SE. Motivating Children to Learn Effectively: Exploring the Value of Intrinsic Integration in Educational Games. J Learn Sci. 19 avr 2011;20(2):169-206.

108. Göbel S, Mehm F. Personalized, Adaptive Digital Educational Games using Narrative Game-Based Learning Objects. Serious Games Virtual Worlds Educ Prof Dev Healthc. 2013;74-84.

109. Hays RT, Singer MJ. Simulation fidelity in training system design: Bridging the gap between reality and training. Springer Science & Business Media; 2012.

110. Hamstra SJ, Brydges R, Hatala R, Zendejas B, Cook DA. Reconsidering fidelity in simulation-based training. Acad Med J Assoc Am Med Coll. mars 2014;89(3):387-92.

111. Norman G, Dore K, Grierson L. The minimal relationship between simulation fidelity and transfer of learning: Simulation fidelity. Med Educ. juill 2012;46(7):636-47.

112. Matsumoto ED, Hamstra SJ, Radomski SB, Cusimano MD. The effect of bench model fidelity on endourological skills: a randomized controlled study. J Urol. mars 2002;167(3):1243-7.

113. Chandra DB, Savoldelli GL, Joo HS, Weiss ID, Naik VN. Fiberoptic oral intubation: the effect of model fidelity on training for transfer to patient care. Anesthesiology. déc 2008;109(6):1007-13.

114. Brydges R, Carnahan H, Rose D, Rose L, Dubrowski A. Coordinating progressive levels of simulation fidelity to maximize educational benefit. Acad Med J Assoc Am Med Coll. mai 2010;85(5):806-12.

115. Eichenbaum A, Bavelier D, Green CS. Video games: play that can do serious good. Am J Play. 2014;7(1):50-72.

116. Dye MWG, Green CS, Bavelier D. The development of attention skills in action video game players. Neuropsychologia. 1 juill 2009;47(8):1780-9.

117. Korteling HJ, Helsdingen AS, Sluimer RR. An empirical evaluation of transfer-of-training of two flight simulation games. Simul Gaming. 2017;48(1):8–35.

118. Ganier F, Hoareau C, Tisseau J. Evaluation of procedural learning transfer from a virtual environment to a real situation: a case study on tank maintenance training. Ergonomics. 3 juin 2014;57(6):828-43.

119. Dawe SR, Pena GN, Windsor JA, Broeders J a. JL, Cregan PC, Hewett PJ, et al. Systematic review of skills transfer after surgical simulation-based training. Br J Surg. août 2014;101(9):1063-76.

120. McGaghie WC, Issenberg SB, Cohen ER, Barsuk JH, Wayne DB. Does simulation-based medical education with deliberate practice yield better results than traditional clinical education? A meta-analytic comparative review of the evidence. Acad Med J Assoc Am Med Coll. juin 2011;86(6):706-11.

121. Wouters P, van Nimwegen C, van Oostendorp H, van der Spek ED. A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. J Educ Psychol. 2013;105(2):249-65.

122. Baldi E, Bucherelli C. The inverted « u-shaped » dose-effect relationships in learning and memory: modulation of arousal and consolidation. Nonlinearity Biol Toxicol Med. janv 2005;3(1):9-21.

123. Cowley B, Ravaja N. Learning in balance: Using oscillatory EEG biomarkers of attention, motivation and vigilance to interpret game-based learning. Cogent Educ. 2014;1(1):962236.

124. Garris R, Ahlers R, Driskell JE. Games, Motivation, and Learning: A Research and Practice Model. Simul Gaming. déc 2002;33(4):441-67.

125. Ivory JD, Kalyanaraman S. The Effects of Technological Advancement and Violent Content in Video Games on Players' Feelings of Presence, Involvement, Physiological Arousal, and Aggression. J Commun. 1 sept 2007;57(3):532-55.

126. Grimshaw M. Sound and immersion in the first-person shooter. Int J Intell Games Simul. 2008;5(1):119–124.

127. Hamari J, Shernoff DJ, Rowe E, Coller B, Asbell-Clarke J, Edwards T. Challenging games help students learn: An empirical study on engagement, flow and immersion in game-based learning. Comput Hum Behav. janv 2016;54:170-9.

128. Csikszentmihalyi M. Finding flow: The psychology of engagement with everyday life. New York, NY, US: Basic Books; 1997. ix, 181 p. (Finding flow: The psychology of engagement with everyday life).

129. Simons PR-J, Jong FPCMD. Self-regulation and Computer-aided Instruction. Appl Psychol. 1992;41(4):333-46.

130. Cziksentmihalyi M. Flow – The Psychology of optimal experience. :9.

131. Jennett C, Cox AL, Cairns P, Dhoparee S, Epps A, Tijs T, et al. Measuring and defining the experience of immersion in games. Int J Hum-Comput Stud. sept 2008;66(9):641-61.

132. Davis D, O'Brien MA, Freemantle N, Wolf FM, Mazmanian P, Taylor-Vaisey A. Impact of formal continuing medical education: do conferences, workshops, rounds, and other traditional continuing education activities change physician behavior or health care outcomes? JAMA. 1 sept 1999;282(9):867-74.

133. Sutton RS. Learning to predict by the methods of temporal differences. Mach Learn. août 1988;3(1):9-44.

134. Kerfoot BP, Kearney MC, Connelly D, Ritchey ML. Interactive spaced education to assess and improve knowledge of clinical practice guidelines: a randomized controlled trial. Ann Surg. mai 2009;249(5):744-9.

135. Kerfoot BP, Baker H, Pangaro L, Agarwal K, Taffet G, Mechaber AJ, et al. An online spaced-education game to teach and assess medical students: a multi-institutional prospective trial. Acad Med J Assoc Am Med Coll. oct 2012;87(10):1443-9.

136. Prince KJAH, Van De Wiel M, Scherpbier AJJA, Can Der Vleuten CPM, Boshuizen HPA. A Qualitative Analysis of the Transition from Theory to Practice in Undergraduate Training in a PBL-Medical School. Adv Health Sci Educ Theory Pract. 2000;5(2):105-16.

137. Kolb DA. Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development. FT Press; 2014. 417 p.

138. Choi W, Dyens O, Chan T, Schijven M, Lajoie S, Mancini ME, et al. Engagement and learning in simulation: recommendations of the Simnovate Engaged Learning Domain Group. BMJ Simul Technol Enhanc Learn. mars 2017;3(Suppl 1):S23-32.

139. Ericsson KA. Deliberate practice and the acquisition and maintenance of expert performance in medicine and related domains. Acad Med J Assoc Am Med Coll. oct 2004;79(10 Suppl):S70-81.

140. Cook DA, Brydges R, Zendejas B, Hamstra SJ, Hatala R. Mastery learning for health professionals using technology-enhanced simulation: a systematic review and meta-analysis. Acad Med J Assoc Am Med Coll. août 2013;88(8):1178-86.

141. Wayne DB, Butter J, Siddall VJ, Fudala MJ, Wade LD, Feinglass J, et al. Mastery learning of advanced cardiac life support skills by internal medicine residents using simulation technology and deliberate practice. J Gen Intern Med. mars 2006;21(3):251-6.

142. Haerling KA. Cost-Utility Analysis of Virtual and Mannequin-Based Simulation. Simul Healthc. févr 2018;13(1):33.

143. Liaw SY, Chan SW-C, Chen F-G, Hooi SC, Siau C. Comparison of Virtual Patient Simulation With Mannequin-Based Simulation for Improving Clinical Performances in Assessing and Managing Clinical Deterioration: Randomized Controlled Trial. J Med Internet Res.

144. Graafland M, Schraagen JM, Schijven MP. Systematic review of serious games for medical education and surgical skills training. Br J Surg. oct 2012;99(10):1322-30.

145. Gorbanev I, Agudelo-Londoño S, González RA, Cortes A, Pomares A, Delgadillo V, et al. A systematic review of serious games in medical education: quality of evidence and pedagogical strategy. Med Educ Online. déc 2018;23(1):1438718.

146. Gentry SV, Gauthier A, L'Estrade Ehrstrom B, Wortley D, Lilienthal A, Tudor Car L, et al. Serious Gaming and Gamification Education in Health Professions: Systematic Review. J Med Internet Res. 28 2019;21(3):e12994.

147. Cook DA, Hamstra SJ, Brydges R, Zendejas B, Szostek JH, Wang AT, et al. Comparative effectiveness of instructional design features in simulation-based education: systematic review and meta-analysis. Med Teach. 2013;35(1):e867-898.

148. Bjork EL, Bjork RA. Making things hard on yourself, but in a good way: Creating desirable difficulties to enhance learning. Psychol Real World Essays Illus Fundam Contrib Soc. 2011;2(59-68).

149. AbouZahr C. Global burden of maternal death and disability. Br Med Bull. 2003;67:1-11.

150. Bouvier-Colle M-H. Épidémiologie de la mortalité maternelle en France, fréquence et caractéristiques. Réanimation. 1 sept 2007;16(5):358-65.

151. Pasquier P, Mérat S, Malgras B, Petit L, Queran X, Bay C, et al. A Serious Game for Massive Training and Assessment of French Soldiers Involved in Forward Combat Casualty Care (3D-SC1): Development and Deployment. JMIR Serious Games. 18 mai 2016;4(1):e5.

152. Creutzfeldt J, Hedman L, Medin C, Heinrichs WL, Felländer-Tsai L. Exploring virtual worlds for scenario-based repeated team training of cardiopulmonary resuscitation in medical students. J Med Internet Res. 3 sept 2010;12(3):e38.

153. Kanthan R, Senger J-L. The impact of specially designed digital games-based learning in undergraduate pathology and medical education. Arch Pathol Lab Med. janv 2011;135(1):135-42.

154. Weick KE, Sutcliffe KM. Managing the Unexpected: Resilient Performance in an Age of Uncertainty. John Wiley & Sons; 2011. 212 p.

155. Ryan CA, Clark LM, Malone A, Ahmed S. The effect of a structured neonatal resuscitation program on delivery room practices. Neonatal Netw NN. févr 1999;18(1):25-30.

156. Curran VR, Aziz K, O'Young S, Bessell C. Evaluation of the effect of a computerized training simulator (ANAKIN) on the retention of neonatal resuscitation skills. Teach Learn Med. 2004;16(2):157-64.

157. Pearlman SA, Zern SC, Blackson T, Ciarlo JA, Mackley AB, Locke RG. Use of neonatal simulation models to assess competency in bag-mask ventilation. J Perinatol Off J Calif Perinat Assoc. mars 2016;36(3):242-6.

158. Thomas EJ, Taggart B, Crandell S, Lasky RE, Williams AL, Love LJ, et al. Teaching teamwork during the Neonatal Resuscitation Program: a randomized trial. J Perinatol Off J Calif Perinat Assoc. juill 2007;27(7):409-14.

159. Thomas EJ, Williams AL, Reichman EF, Lasky RE, Crandell S, Taggart WR. Team training in the neonatal resuscitation program for interns: teamwork and quality of resuscitations. Pediatrics. mars 2010;125(3):539-46.

160. Patel A, Khatib MN, Kurhe K, Bhargava S, Bang A. Impact of neonatal resuscitation trainings on neonatal and perinatal mortality: a systematic review and meta-analysis. BMJ Paediatr Open. 2017;1(1):e000183.

161. Sawyer T, Umoren RA, Gray MM. Neonatal resuscitation: advances in training and practice. Adv Med Educ Pract. 2017;8:11-9.

162. Ghoman SK, Schmölzer GM. The RETAIN Simulation-Based Serious Game-A Review of the Literature. Healthc Basel Switz. 22 déc 2019;8(1).

163. Chronister C, Brown D. Comparison of Simulation Debriefing Methods. Clin Simul Nurs. 1 sept 2012;8(7):e281-8.

164. Levett-Jones T, Lapkin S. A systematic review of the effectiveness of simulation debriefing in health professional education. Nurse Educ Today. juin 2014;34(6):e58-63.

165. Lederman LC. Debriefing: Toward a Systematic Assessment of Theory and Practice. Simul Gaming. 1 juin 1992;23(2):145-60.

166. Boet S, Bould MD, Bruppacher HR, Desjardins F, Chandra DB, Naik VN. Looking in the mirror: self-debriefing versus instructor debriefing for simulated crises. Crit Care Med. juin 2011;39(6):1377-81.

167. de Wit-Zuurendonk LD, Oei SG. Serious gaming in women's health care. BJOG Int J Obstet Gynaecol. nov 2011;118 Suppl 3:17-21.

168. Tofil NM, Peterson DT, Wheeler JT, Youngblood A, Zinkan JL, Lara D, et al. Repeated versus varied case selection in pediatric resident simulation. J Grad Med Educ. juin 2014;6(2):275-9.

169. Rondon S, Sassi FC, Furquim de Andrade CR. Computer game-based and traditional learning method: a comparison regarding students' knowledge retention. BMC Med Educ. 25 févr 2013;13:30.

170. Akl EA, Kairouz VF, Sackett KM, Erdley WS, Mustafa RA, Fiander M, et al. Educational games for health professionals. Cochrane Database Syst Rev. 28 mars 2013;(3):CD006411.

171. Susi T, Johannesson M, Backlund P. Serious games: An overview. Institutionen för kommunikation och information; 2007.

172. Prensky M. Digital game-based learning. Comput Entertain CIE. 2003;1(1):21–21.

173. Taekman JM, Foureman MF, Bulamba F, Steele M, Comstock E, Kintu A, et al. A Novel Multiplayer Screen-Based Simulation Experience for African Learners Improved Confidence in Management of Postpartum Hemorrhage. Front Public Health. 2017;5:248.

174. Schon, D. The Reflective Practitioner: How professionals think in action. Temple Smith-London. 1983.

175. Gordon M, Hill E, Stojan JN, Daniel M. Educational Interventions to Improve Handover in Health Care: An Updated Systematic Review. Acad Med J Assoc Am Med Coll. 2018;93(8):1234-44.

176. Coggins A, Desai M, Nguyen K, Moore N. Early acquisition of non-technical skills using a blended approach to simulation-based medical education. Adv Simul Lond Engl. 2017;2:12.

177. Busari JO, Yaldiz H, Verstegen D. Serious games as an educational strategy for management and leadership development in postgraduate medical education - an exploratory inquiry. Adv Med Educ Pract. 2018;9:571-9.

178. Lagro J, van de Pol MHJ, Laan A, Huijbregts-Verheyden FJ, Fluit LCR, Olde Rikkert MGM. A randomized controlled trial on teaching geriatric medical decision making and cost consciousness with the serious game GeriatriX. J Am Med Dir Assoc. déc 2014;15(12):957.e1-6.

179. Johnsen HM, Fossum M, Vivekananda-Schmidt P, Fruhling A, Slettebø Å. Teaching clinical reasoning and decision-making skills to nursing students: Design, development, and usability evaluation of a serious game. Int J Med Inf. 2016;94:39-48.

180. Graafland M, Bemelman WA, Schijven MP. Game-based training improves the surgeon's situational awareness in the operation room: a randomized controlled trial. Surg Endosc. 2017;31(10):4093-101.

181. Chronister C, Brown D. Comparison of Simulation Debriefing Methods. Clin Simul Nurs. 1 sept 2012;8(7):e281-8.

182. Levett-Jones T, Lapkin S. A systematic review of the effectiveness of simulation debriefing in health professional education. Nurse Educ Today. juin 2014;34(6):e58-63.

183. Lederman LC. Debriefing: Toward a Systematic Assessment of Theory and Practice. Simul Gaming. 1 juin 1992;23(2):145-60.

184. Crookall D. Serious games, debriefing, and simulation/gaming as a discipline. Simul Gaming. 2010;41(6):898–920.

185. Garden AL, Le Fevre DM, Waddington HL, Weller JM. Debriefing after simulation-based non-technical skill training in healthcare: a systematic review of effective practice. Anaesth Intensive Care. mai 2015;43(3):300-8.

186. Greif R, Lockey AS, Conaghan P, Lippert A, De Vries W, Monsieurs KG, et al. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015: Section 10. Education and implementation of resuscitation. Resuscitation. oct 2015;95:288-301.

187. Anderson R, Sebaldt A, Lin Y, Cheng A. Optimal training frequency for acquisition and retention of high-quality CPR skills: A randomized trial. Resuscitation. 2019;135:153-61.

188. Reader TW. Learning through high-fidelity anaesthetic simulation: the role of episodic memory. Br J Anaesth. oct 2011;107(4):483-7.

189. Jenkins B. Training and assessment of non-technical skills in the operating theatre: where next? Anaesthesia. août 2015;70(8):897-902.

190. Mossenson AI, Tuyishime E, Rawson D, Mukwesi C, Whynot S, Mackinnon SP, et al. Promoting anaesthetisia providers' non-technical skills through the Vital Anaesthesia Simulation Training (VAST) course in a low-resource setting. Br J Anaesth. févr 2020;124(2):206-13.

191. Chittaro L, Buttussi F. Assessing Knowledge Retention of an Immersive Serious Game vs. a Traditional Education Method in Aviation Safety. IEEE Trans Vis Comput Graph. avr 2015;21(4):529-38.

192. Padilha JM, Machado PP, Ribeiro A, Ramos J, Costa P. Clinical Virtual Simulation in Nursing Education: Randomized Controlled Trial. J Med Internet Res. 18 2019;21(3):e11529.

193. Cutumisu M, Patel SD, Brown MRG, Fray C, von Hauff P, Jeffery T, et al. RETAIN: A Board Game That Improves Neonatal Resuscitation Knowledge Retention. Front Pediatr. 2019;7:13.

194. Abdulmajed H, Park YS, Tekian A. Assessment of educational games for health professions: a systematic review of trends and outcomes. Med Teach. avr 2015;37 Suppl 1:S27-32.

195. Wang R, DeMaria S, Goldberg A, Katz D. A Systematic Review of Serious Games in Training Health Care Professionals. Simul Healthc J Soc Simul Healthc. févr 2016;11(1):41-51.

196. Sipiyaruk K, Gallagher JE, Hatzipanagos S, Reynolds PA. A rapid review of serious games: From healthcare education to dental education. Eur J Dent Educ Off J Assoc Dent Educ Eur. nov 2018;22(4):243-57.

197. Nestel D, Walker K, Simon R, Aggarwal R, Andreatta P. Nontechnical skills: an inaccurate and unhelpful descriptor? Simul Healthc J Soc Simul Healthc. févr 2011;6(1):2-3.

198. Murphy P, Nestel D, Gormley GJ. Words matter: towards a new lexicon for « nontechnical skills » training. Adv Simul Lond Engl. 2019;4:8.

199. Sevdalis N, Davis R, Koutantji M, Undre S, Darzi A, Vincent CA. Reliability of a revised NOTECHS scale for use in surgical teams. Am J Surg. août 2008;196(2):184-90.

200. Martin JA, Regehr G, Reznick R, MacRae H, Murnaghan J, Hutchison C, et al. Objective structured assessment of technical skill (OSATS) for surgical residents. Br J Surg. févr 1997;84(2):273-8.

201. Riem N, Boet S, Bould MD, Tavares W, Naik VN. Do technical skills correlate with non-technical skills in crisis resource management: a simulation study. Br J Anaesth. nov 2012;109(5):723-8.

202. Fransen AF, de Boer L, Kienhorst D, Truijens SE, van Runnard Heimel PJ, Oei SG. Assessing teamwork performance in obstetrics: A systematic search and review of validated tools. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol. sept 2017;216:184-91.

203. Boet S, Larrigan S, Martin L, Liu H, Sullivan KJ, Etherington N. Measuring non-technical skills of anaesthesiologists in the operating room: a systematic review of assessment tools and their measurement properties. Br J Anaesth. déc 2018;121(6):1218-26.

204. Polit DF, Beck CT. The content validity index: are you sure you know what's being reported? Critique and recommendations. Res Nurs Health. oct 2006;29(5):489-97.

205. Balki M, Chakravarty S, Salman A, Wax RS. Effectiveness of using high-fidelity simulation to teach the management of general anesthesia for Cesarean delivery. Can J Anaesth J Can Anesth. oct 2014;61(10):922-34.

206. Cole DC, Giordano CR, Vasilopoulos T, Fahy BG. Resident Physicians Improve Nontechnical Skills When on Operating Room Management and Leadership Rotation. Anesth Analg. 2017;124(1):300-7.

207. Fletcher G, Flin R, McGeorge P, Glavin R, Maran N, Patey R. Anaesthetists' Non-Technical Skills (ANTS): evaluation of a behavioural marker system. Br J Anaesth. mai 2003;90(5):580-8.

208. Gjeraa K, Jepsen RMHG, Rewers M, Østergaard D, Dieckmann P. Exploring the relationship between anaesthesiologists' non-technical and technical skills. Acta Anaesthesiol Scand. janv 2016;60(1):36-47.

209. Jepsen RMHG, Dieckmann P, Spanager L, Lyk-Jensen HT, Konge L, Ringsted C, et al. Evaluating structured assessment of anaesthesiologists' non-technical skills. Acta Anaesthesiol Scand. juill 2016;60(6):756-66.

210. Jirativanont T, Raksamani K, Aroonpruksakul N, Apidechakul P, Suraseranivongse S. Validity evidence of non-technical skills assessment instruments in simulated anaesthesia crisis management. Anaesth Intensive Care. 2017;45(4):469-75.

211. Mudumbai SC, Gaba DM, Boulet JR, Howard SK, Davies MF. External validation of simulation-based assessments with other performance measures of third-year anesthesiology residents. Simul Healthc J Soc Simul Healthc. avr 2012;7(2):73-80.

212. Yee B, Naik VN, Joo HS, Savoldelli GL, Chung DY, Houston PL, et al. Nontechnical skills in anesthesia crisis management with repeated exposure to simulation-based education. Anesthesiology. août 2005;103(2):241-8.

213. Hagemann V, Herbstreit F, Kehren C, Chittamadathil J, Wolfertz S, Dirkmann D, et al. Does teaching non-technical skills to medical students improve those skills and simulated patient outcome? Int J Med Educ. 29 2017;8:101-13.

214. Cavicchiolo ME, Cavallin F, Staffler A, Pizzol D, Matediana E, Wingi OM, et al. Decision making and situational awareness in neonatal resuscitation in low resource settings. Resuscitation. 1 janv 2019;134:41-8.

215. Swing SR, Clyman SG, Holmboe ES, Williams RG. Advancing resident assessment in graduate medical education. J Grad Med Educ. déc 2009;1(2):278-86.

216. Prinsen C a. C, Mokkink LB, Bouter LM, Alonso J, Patrick DL, de Vet HCW, et al. COSMIN guideline for systematic reviews of patient-reported outcome measures. Qual Life Res Int J Qual Life Asp Treat Care Rehabil. 2018;27(5):1147-57.

217. Yule J, Hill K, Yule S. Development and evaluation of a patient-centred measurement tool for surgeons' non-technical skills. Br J Surg. 2018;105(7):876-84.

VII. Liste des Figures et tableaux

Figure 1: Modèle de fromage Suisse selon J. Reason (7,8) adapté dans Swiss Medical Forum 2018;18(13–14):297–303…….. 4

Figure 2: Facteurs individuels influençant les performances en équipe (18)……. 7

Figure 3 : Modèle simplifié de prise de décision basé sur le Naturalistic Decision Making....10

Figure 4: Représentation des liens entre les caractéristiques du travail en équipe et les mécanismes de coordination (Salas et al., 2005(35)). Dans ce modèle, les éléments P1 à P10 représentent les mécanismes qui influencent les différents éléments. La communication a un rôle majeur puisqu'elle rend ces liens possibles. La communication et le travail d'équipe sont interdépendants…… 14

Figure 5 : Schéma du cursus médical ……...20

Figure 6 : à gauche le simulateur d'Angélique du Coudray (1750; conservé au Musée Flaubert et d'Histoire de la médecine à Rouen, France) ; à droite Noelle® S551 simulateur d'accouchement corps entier Gaumard…… 27

Figure 7 : Simulateurs procéduraux. A gauche: dos pour ponction lombaire, à droite simulateur d'échographie pour ponction vasculaire……..29

Figure 8: Photo prise lors de l'expérimentation numéro 1, mannequin Noelle®, Ilumens, Paris…….. 30

Figure 9 : Simulation hybride d'une hémorragie du post-partum en salle de naissance in situ, actrice et bassin d'accouchement……..30

Figure 10 : Photo de l'expérimentation réalité virtuelle et chirurgie coelioscopique, Institut Mutualiste Montsouris, Paris……31

Figure 11 : La pyramide de Kirkpatrick……... 33

Figure 12 : Exemple de technique de « guidance » dans le simulateur RNN sous forme d'encadrés de rappel en haut à droite……... 40

Figure 13 : La représentation de la théorie du flow (130) ……45

Figure 14 : Revue de littérature des méthodes d'évaluation des CNT du domaine médical sélectionnées pour notre analyse (la croix représente la présence ou non de chaque compétence au regard de la méthode sélectionnée)……... 129

Tableau 1 : Principales catégories et éléments des compétences non-techniques, d'après Flin, O'Connor, & Crichton (16) ……6

VIII. Annexes

A. Annexe 1 : SAED (HAS)

HAS
HAUTE AUTORITÉ DE SANTÉ

S

Je décris la Situation actuelle concernant le patient :
Je suis : *prénom, nom, fonction, service/unité*
Je vous appelle au sujet de : *M. /Mme, prénom, nom du patient, âge/date de naissance, service/unité*
Car actuellement il présente : *motif de l'appel*
Ses constantes vitales/signes cliniques sont : *fréquence cardiaque, respiratoire, tension artérielle, température, évaluation de la douleur (EVA), etc.*

A

J'indique les antécédents utiles, liés au contexte actuel :
Le patient a été admis : *date et motif de l'admission*
Ses antécédents médicaux sont : ... **Ses allergies sont** : ...
Il a eu pendant le séjour : *opérations, investigations, etc.*
Les traitements en cours sont : ... **Ses résultats d'examens sont :** *labo, radio, etc.*
La situation habituelle du patient est : *confus, douloureux, etc.*
La situation actuelle a évolué depuis : *minutes, heures, jours*

E

Je donne mon évaluation de l'état actuel du patient :
Je pense que le problème est : ...
J'ai fait : *donné de l'oxygène, posé une perfusion, etc.*
Je ne suis pas sûr de ce qui provoque ce problème mais l'état du patient s'aggrave
Je ne sais pas ce qui se passe mais je suis réellement inquiet

D

Je formule ma demande (d'avis, de décision, etc.) :
Je souhaiterais que : ...
par exemple :
Je souhaiterais que vous veniez voir le patient : *quand ?*
ET
Pouvez-vous m'indiquer ce que je dois faire : *quoi et quand ?*

RÉPONSE DE VOTRE INTERLOCUTEUR : il doit reformuler brièvement ces informations pour s'assurer de sa bonne compréhension de la situation puis conclure par sa prise de décision.

Ce document est issu du guide HAS « *Saed : ça aide à communiquer* », téléchargeable sur **www.has-sante.fr**

B. Annexe 2 : Score ANTS (traduction française)

Score ANTS

Compétence	Elément	Score* du praticien pour chaque élément (/4)	Observation sur la performance	Score* du praticien pour la compétence (/4)	Score* général pour l'équipe (/4)
Gestion de tâches	Prévoir et préparer			☐	☐
	Priorisation				
	Assurer et maintenir standards				
	Identification et utilisation des ressources				
Travail en Equipe	Coordination des activités de l'équipe			☐	☐
	Echange d'informations				
	Utilisation de l'autorité et assurance				
	Evaluation des capacités				
	Soutien des autres				
Perception de la Situation	Recueil d'informations			☐	☐
	Reconnaissance et compréhension				
	Anticipation				
Prise de Décision	Identification des options			☐	☐
	Balance bénéfice risque et sélection				
	Réévaluation				

***4** Bon ; **3** Acceptable ; **2** Marginal ; **1** Inexistant ; **NO** Non observé

C. Annexe 3 : Score BAT (traduction française)

ilumens
mieux former pour mieux soigner

NOM :
Prénom :

Date :

Il y a cinq catégories de niveau de compétence, de 0 à 4 (de mauvaise à excellente ou de novice à expert). En fonction de chaque situation, évaluez-vous en entourant le chiffre qui correspond le mieux à la situation que vous venez de réaliser.

1. CONNAISSANCE DE L'ENVIRONNEMENT

Je ne connaissais pas l'environnement ; Je ne connaissais pas le materiel ; Je n'ai pas posé de questions sur l'environnement		J'étais peu familier avec l'environnement ; J'étais peu familier avec le matériel ; J'ai posé des questions sur l'environnement après avoir essayé de me repérer seul		J'étais familier avec l'environnement ; Je connaissais tout l'équipement ; J'ai posé volontiers des questions aux autres sur l'environnement
FAIBLE 0 point novice	PARTIELLEMENT ACCEPTABLE 1 point	ACCEPTABLE 2 points compétent	MOYEN 3 points	EXELLENT 4 points expert

2. ANTICIPATION ET PLANIFICATION DES PROBLEMES

Je n'ai pas été prêt pour le cas ; Je n'ai pas demandé aux autres les informations recueillies ; Je n'ai pas rassemblé le personnel et l'équipement nécéssaires ; Je n'ai pas réagi à l'évolution de la situation		J'ai posé quelques questions concernant le patient ; j'ai montré une certaine compréhension des problèmes possibles et des conséquences ; Je me suis assuré de la présence du personnel et de l'équipement nécéssaires ; Je n'ai pas reconnu les situations prévisibles mais je me suis adapté à l'évolution de la situation		J'ai posé des questions pertinentes montrant une compréhension des problèmes et des conséquences ultérieures ; Je n'ai pas été surpris par les problèmes prévisibles ; je me suis assuré de la présence de tout le personnel et de l'équipement nécéssaires
FAIBLE 0 point novice	PARTIELLEMENT ACCEPTABLE 1 point	ACCEPTABLE 2 points compétent	MOYEN 3 points	EXELLENT 4 points expert

3. ROLE DANS L'EQUIPE

Je n'ai pas identifié mon rôle ; J'étais en retrait ; J'étais nerveux, mal à l'aise ; Je ne suis pas parvenu à inspirer confiance		Je me suis identifié après que l'on me l'ait demandé ; J'ai pris part à la situation quand on me l'a demandé ; J'ai assumé mon rôle dans l'équipe sans coordonner pour autant les autres acteurs		Je me suis identifié clairement comme acteur de soins dans la prise en charge du patient ; J'ai pris part facilement à la situation ; J'ai su me mettre en avant quand nécessaire ; J'ai inspiré confiance au reste de l'équipe
FAIBLE 0 point novice	PARTIELLEMENT ACCEPTABLE 1 point	ACCEPTABLE 2 points compétent	MOYEN 3 points	EXELLENT 4 points expert

4. COMMUNICATION AVEC LES AUTRES MEMBRES DE L'EQUIPE

J'ai communiqué un problème de manière confuse ou incorrecte ; Je n'ai pas parlé clairement ; Ma voix etait trop faible ou trop forte ; J'ai peu parlé au reste de l'équipe ; Je n'ai pas clairement identifié à qui je parlais		J'ai identifié un problème mais je ne l'ai pas clairement communiqué ; Le ton de ma voix variait mais restait audible ; J'ai clairement identifié à qui je parlais la plupart du temps ; J'ai coopéré et écouté les autres la plupart du temps		J'ai defini clairement un problème ; J'ai parlé clairement,succintement,d'une même tonalité ; J'étais facilement audible par le reste de l'équipe ; j'étais clairement identifié par mon interlocuteur ; J'ai encouragé la coopération ; J'ai clarifié toutes communications ambigües
FAIBLE 0 point novice	PARTIELLEMENT ACCEPTABLE 1 point	ACCEPTABLE 2 points compétent	MOYEN 3 points	EXELLENT 4 points expert

5. REPARTITION DE LA CHARGE DE TRAVAIL/DELEGATION

J'ai éssayé de tout faire ; Je n'ai pas tenu compte des compétences du reste de l'équipe ; j'ai peu, voire rien entrepris ; J'ai fait du glissement de tâches sans conseils adaptés		J'ai délégué de manière appropriée ; J'ai attribué des tâches spécifiques aux differents acteurs sans dépasser leurs champs de compétences		J'ai attribué clairement des tâches spécifiques aux différents acteurs ; j'ai remarqué si un membre de l'équipe avait besoin d'aide ou d'être remplacé ; J'ai pu superviser de manière appropriée
FAIBLE 0 point novice	PARTIELLEMENT ACCEPTABLE 1 point	ACCEPTABLE 2 points compétent	MOYEN 3 points	EXELLENT 4 points expert

D. Annexe 4 : Score DASS 21 (traduction française)

ilumens
mieux former pour mieux soigner

NOM :
Prénom :

Date :

Veuillez lire chaque phrase et entourer le chiffre 0, 1, 2 ou 3 en fonction de l'échelle de notation suivante. Il n'y a pas de

Echelle de notation :
0 : Ne s'applique pas du tout à moi
1 : S'applique à moi à un certain degré, ou à une partie du temps
2 : S'applique à moi à un degré élevé, ou à une bonne partie du temps
3 : S'applique tout à fait à moi, ou la plupart du temps

1	*J'ai trouvé difficile de décompresser*	0	1	2	3
2	*J'ai été conscient d'avoir la bouche sèche*	0	1	2	3
3	*J'ai eu l'impression de ne pas pouvoir ressentir d'émotion positive*	0	1	2	3
4	*J'ai eu de la difficulté à respirer (par exemple, respirations excessivement rapides, essoufflements sans efforts physiques)*	0	1	2	3
5	*J'ai eu de la difficulté à initier de nouvelles activités*	0	1	2	3
6	*J'ai eu tendance à réagir de façon exagérée*	0	1	2	3
7	*J'ai eu des tremblements (par exemple, des mains)*	0	1	2	3
8	*J'ai eu l'impression de dépenser beaucoup d'énergie nerveuse*	0	1	2	3
9	*Je me suis inquiété en pensant à des situations où je pourrais paniquer et faire de moi un idiot*	0	1	2	3
10	*J'ai eu le sentiment de ne rien envisager avec plaisir*	0	1	2	3
11	*Je me suis aperçu que je devenais agité*	0	1	2	3
12	*J'ai eu de la difficulté à me détendre*	0	1	2	3
13	*Je me suis senti abattu et triste*	0	1	2	3
14	*J'ai été intolérant à tout ce qui m'empêchait de faire ce que j'avais à faire*	0	1	2	3
15	*J'ai eu le sentiment d'être presque pris de panique*	0	1	2	3
16	*J'ai été incapable de me sentir enthousiaste au sujet de quoi que ce soit*	0	1	2	3
17	*J'ai eu le sentiment de ne pas valoir grand chose comme personne*	0	1	2	3
18	*J'ai eu l'impression d'être assez susceptible*	0	1	2	3
19	*J'ai été conscient des palpitations de mon cœur en l'absence d'effort physique (sensation d'augmentation de mon rythme cardiaque ou l'impression que mon cœur venait de sauter)*	0	1	2	3
20	*J'ai eu peur sans bonne raison*	0	1	2	3
21	*J'ai eu l'impression que la vie n'avait pas de sens*	0	1	2	3

sources : Lovibond PF, Lovibond SH. The structure of negative emotional states: Comparison of the Depression Anxiety Stress Scales (DASS) with the Beck Depression and Anxiety Inventories. Behav Res Ther. 1 mars 1995;33(3):335‑43.
Nahaboo S, Hicks R, Gilles P-Y. Développement d'une échelle de dépression et d'anxiété pour la population mauricienne : la DASS-21. In 2010

E. Annexe 5 : Score Flow (traduction française)

ilumens
mieux former pour mieux soigner

NOM : Date :

Prénom :

Lisez chaque phrase, puis entourez le chiffre correspondant selon ce que vous pensez.

Pas du tout d'accord	Très peu d'accord	Un peu d'accord	Moyennement d'accord	Assez d'accord	Fortement d'accord	Tout à fait d'accord
1	2	3	4	5	6	7

J'ai dû faire des efforts pour rester concentré sur l'activité	*1*	2	3	4	5	6	7
Lorsque je réalisais l'activité, je ne pensais à rien d'autre	*1*	2	3	4	5	6	7
J'ai eu des difficultés pour réaliser cette activité	*1*	2	3	4	5	6	7
Je suis satisfait de ce que j'ai fait	*1*	2	3	4	5	6	7
Cette activité était importante pour moi	*1*	2	3	4	5	6	7
J'avais les compétences pour réaliser cette activité	*1*	2	3	4	5	6	7
Cette activité était excitante	*1*	2	3	4	5	6	7
Je me suis senti capable de faire face aux exigences élevées de la situation	*1*	2	3	4	5	6	7
Je senti que je contrôlais parfaitement mes actions	*1*	2	3	4	5	6	7
A chaque étape, j'ai su ce que je devais faire	*1*	2	3	4	5	6	7
Je n'ai pas vu le temps passer	*1*	2	3	4	5	6	7
Je ne suis pas préoccupé par ce que les autres pourraient penser de moi	*1*	2	3	4	5	6	7

F. Annexe 6 : Score NASA-TLX (traduction française)

ilumens
mieux former pour mieux soigner

Nom :		Date :
Prénom :		
Merci d'évaluer l'amplitude de chacun des six facteurs suivants représentant la charge mentale de l'activité réalisée. Mettez une croix sur les graduations de chaque échelle.		
Exigence Mentale		Quelle a été l'importance de l'activité mentale et intellectuelle requise (ex. réflexion, décision, calcul, mémorisation, observation, recherche etc.) ? La tâche vous a-t-elle paru simple, nécessitant peu d'attention (faible) ou complexe, nécessitant beaucoup d'attention (élevée) ?
Exigence Physique		Quelle a été l'importance de l'activité physique requise (ex. pousser, porter, tourner, marcher, activer, etc.) ? La tâche vous a-t-elle paru facile, peu fatigante, calme (faible) ou pénible, fatigante, active (élevée) ?
Exigence Temporelle		Quelle a été l'importance de la pression temporelle causée par la rapidité nécessitée pour l'accomplissement de la tâche ? Etait-ce un rythme lent et tranquille (faible) ou rapide et précipité (élevé) ?
Performance		Quelle réussite pensez-vous avoir eu dans l'accomplissement de votre tâche ? Comment pensez-vous avoir atteint les objectifs déterminés par la tâche ?
Effort		Quel degré d'effort avez-vous dû fournir pour exécuter la tâche demandée, (mentalement et physiquement) ?
Frustration		Pendant l'exécution du travail vous êtes-vous senti satisfait, relaxé, sûr de vous (niveau de frustration faible), ou plutôt découragé, irrité, stressé, sans assurance (niveau de frustration élevé) ?

Résumé

L'intérêt de la simulation pour la pédagogie et la formation des professionnels de santé n'est plus à prouver. La simulation numérique est en plein essor et représente une alternative ou un complément intéressant aux autres techniques de simulation telles que la simulation haute-fidélité, car moins coûteuse, d'utilisation plus facile et autonome, l'apprenant pouvant s'exercer seul et quand il le souhaite. La formation aux situations médicales critiques (situations d'urgence au bloc opératoire ou en obstétrique) comporte des objectifs pédagogiques en termes de compétences techniques mais également non-techniques ou comportementales. L'objectif de ce travail doctoral est d'analyser la possibilité et les modalités d'entraînement des compétences non-techniques à travers deux simulateurs numériques de situations médicales critiques : l'hémorragie du post-partum et la réanimation néonatale.

Pour cela une première expérimentation, menée avec des étudiants sages-femmes sur un simulateur numérique d'hémorragie du post-partum, a évalué d'une part l'autoévaluation des compétences non-techniques des participants au fur et à mesure des scénarii de simulation numérique et d'autre part l'évaluation experte des compétences non-techniques lors d'une simulation haute-fidélité après entraînement en simulation numérique. Différentes modalités, mettant plus ou moins en jeu les compétences non-techniques, ont alors été testées. Une seconde expérimentation a évalué l'impact du débriefing sur l'acquisition et la rétention des connaissances, des compétences techniques et non-techniques d'étudiants sages-femmes. Durant cette formation en simulation numérique le débriefing a été intégré au simulateur numérique de réanimation du nouveau-né, seulement pour une partie des apprenants.

Nos résultats ont montré l'intérêt de la simulation numérique pour la formation aux compétences non-techniques en les intégrant aux objectifs pédagogiques, aux scénarii et au débriefing dans la simulation. La rétention des apprentissages à deux mois semble générer un gain significatif chez les étudiants sages-femmes. Ce travail ouvre des perspectives de recherches futures, visant à mieux définir la place et les modalités des entraînements en simulation numérique au sein des cursus de formations des professionnels de santé pour un résultat optimal en fonction des objectifs.

Mots-clés : simulation numérique, compétences non-techniques, débriefing, rétention des apprentissages.