



HAL
open science

Simulation et Réalité Virtuelle pour l'apprentissage des Compétences Non-Techniques en conduite et en médecine des situations d'urgence

Jessy Barre, Azzeddine Benabbou, Valentin Corneloup, Yannick Bourrier,
Anais Job

► To cite this version:

Jessy Barre, Azzeddine Benabbou, Valentin Corneloup, Yannick Bourrier, Anais Job. Simulation et Réalité Virtuelle pour l'apprentissage des Compétences Non-Techniques en conduite et en médecine des situations d'urgence. Journées de l'Informatique Graphique et de la Réalité Virtuelle(IGRV 2017), Oct 2017, Rennes, France. hal-01681378

HAL Id: hal-01681378

<https://hal.science/hal-01681378>

Submitted on 11 Jan 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/320531624>

Simulation et Réalité Virtuelle pour l'apprentissage des Compétences Non-Techniques en conduite...

Conference Paper · October 2017

CITATION

1

READS

108

5 authors, including:



[Barre Jessy](#)

Paris Descartes, CPSC

16 PUBLICATIONS 18 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Azzeddine Benabbou](#)

Université de Technologie de Compiègne

6 PUBLICATIONS 4 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Yannick Bourrier](#)

Pierre and Marie Curie University - Paris 6

6 PUBLICATIONS 6 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Valentin Corneloup](#)

Institut Français des Sciences et Technologies ...

5 PUBLICATIONS 5 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



ANR MacCoy Critical [View project](#)



CREATIVENESS (LCPI GROUP) [View project](#)

Simulation et Réalité Virtuelle pour l'apprentissage des Compétences Non-Techniques en conduite et en médecine des situations d'urgence.

Jessy Barré^{1*}, Azzeddine Benabbou^{**}, Yannick Bourrier^{***/*}, Valentin Corneloup^{****}, Anais Job^{*****}

* *Ilumens - Université Paris Descartes, 75006 Paris, France.*

** *Heudiasyc - Université de Technologie de Compiègne, 60205 Compiègne, France.*

*** *LIG - Laboratoire d'Informatique de Grenoble - UGA-CNRS- Grenoble INP, 38058 Grenoble, France.*

**** *LIP6 - Université Pierre et Marie Curie, Sorbonne Universités, 75252 Paris, France.*

***** *IFSTTAR - AME/LPC, 78000 Versailles, France.*

***** *LATI - Université Paris Descartes, 92774 Boulogne Billancourt, France.*

ABSTRACT :

La visée de ce papier est de présenter le projet MacCoy Critical. Ce projet s'intéresse particulièrement à la question de la formation aux Compétences Non-Techniques (CNT) dans deux domaines spécifiques à forts enjeux sécuritaires : la médecine obstétrique et la conduite automobile. Pour ce faire, il envisage de recourir à la simulation et à la Réalité Virtuelle. L'approche du projet tient son originalité d'une approche temps réel qui s'organise en trois points. (1) le diagnostic : c'est-à-dire l'évaluation « online » des CNT de l'apprenant, au regard d'une situation critique² et via la récupération de données comportementales, oculométriques et physiologiques ; (2) la décision : nourrit par le diagnostic et chargé de fournir en temps réel des indications de modifications de l'environnement virtuel ; (3) la rétroaction : basée sur les suggestions du modèle décisionnel dans lequel une consigne pédagogique est envoyée à un moteur de scénarisation qui génère en direct de nouvelles situations critiques. L'objectif principal étant d'améliorer les CNT de l'apprenant identifiées comme défaillantes.

Ce projet est financé par l'ANR (CE14-24 0021)

Keywords : Réalité virtuelle, Simulation de conduite, Simulateur médical, Facteurs Humains, Formation, Compétences Non-Techniques.

1 Introduction

Cet article porte sur le projet MacCoy Critical (Modèles pour une réalité virtuelle enrichie par rétroaction adaptative et Orchestration pour favoriser l'apprentissage de Compétences Non-Techniques en situations critiques ; <https://maccoy.hds.utc.fr/>), qui vise à étudier et améliorer les systèmes de formation et d'entraînement par le recours à la simulation et aux Environnements Virtuels. Deux terrains d'étude sont couverts : la formation à la conduite (conducteurs débutants et novices) et la formation médicale (équipe obstétricale dans une situation d'urgence). Les situations simulées virtuellement sont souvent restreintes et ne fournissent aux apprenants que peu de variations. Il existe donc un réel besoin d'environnements virtuels qui mettraient les apprenants dans des situations écologiques et variées, induisant des

connaissances et des compétences qui seraient mises en pratique dans des situations réelles [1], tout en prenant en compte le profil de l'apprenant. De plus, ces EV sont principalement orientés vers l'acquisition ou l'amélioration de « Compétences Techniques », c'est-à-dire les connaissances spécialisées (ex : procédures...) nécessaires à la réalisation technique des tâches. Les Compétences Non-Techniques (CNT ou *Non Technical Skills*) sont, quant à elles, des « compétences cognitives, sociales et de ressources personnelles qui complètent les compétences techniques des travailleurs et contribuent à des performances sécuritaires et efficaces » [2]. Leur apprentissage est peu abordé dans les EV, alors qu'elles peuvent être à l'origine de nombreux incidents ou accidents dans les activités professionnelles [3]. L'objectif général de cet article est de présenter les Environnements Virtuels et les scénarios développés : un simulateur médical présentant une situation d'Hémorragie du Post Partum, et un simulateur de conduite conçu pour exposer les conducteurs à des situations mobilisant les CNT.

2 L'activité

L'activité de conduite

La conduite est une activité dynamique, complexe et dangereuse [4]. En premier lieu, parce que les conducteurs doivent utiliser simultanément et de manière efficiente leurs capacités perceptuelles, cognitives et motrices [5]. Ensuite, parce que les conducteurs doivent être capables de s'adapter à des situations qui changent très rapidement, parfois à cause de l'environnement (ex. les actions d'autres conducteurs [6]), parfois à cause de ses propres actions (ex. [7]). Enfin, parce que plusieurs buts différents sous-tendent la tâche de conduite : un but principal, se rendre d'un point A à un point B de manière sûre et efficace, et plusieurs sous buts qui changent d'un conducteur à l'autre, mais qui changent aussi chez le même conducteur en fonction de son contexte personnel (être confortable, être économe, aller vite, etc. ; ex. [8]).

Dans ce contexte, les novices (i.e. qui possèdent le permis depuis moins de 2 ans ; [9]) présentent un surrisque d'accident par rapport aux conducteurs plus expérimentés. Indépendant de l'âge, cet effet, qui décroît largement durant les premiers mois post permis [9], pourrait en partie être expliqué par l'acquisition et le développement « sur le tas » de compétences additionnelles de conduite, au cours des premiers temps d'autonomie sur la route.

¹ jessy.barre@gmail.com

² Nous définissons les situations critiques comme des situations dynamiques complexes à risques où des facteurs tant internes (l'expérience, les connaissances et savoir-faire, l'état de fatigue, etc.), qu'externes à l'individu (l'environnement au sens large, les autres acteurs présents, etc.), font qu'elles s'écartent des situations a priori maîtrisées par le sujet sur la base des règles et des procédures acquises lors des étapes précédentes de l'apprentissage.

Cette acquisition pourrait résulter notamment de l'expérience de situations critiques rencontrées durant cette période ([10], [11]).

A notre connaissance, il n'existe pas dans la littérature scientifique rapportée aux compétences de conduite de mention directe de la notion de Compétence Non-Technique. Cependant, on trouve de nombreuses mentions des « compétences de conduite de haut niveau » (CCHN). Or, ces dernières se définissent comme un « ensemble de compétences cognitives et perceptives de haut niveau, qui permettent au conducteur d'interagir de manière sûre et efficace avec l'environnement routier [12] ». Cette définition se rapproche de la définition classique des CNT [2], mais se focalise très nettement sur l'activité de conduite.

Un déficit en termes de compétences de CCHN serait un facteur majeur du surrisque chez le conducteur novice ([12], [13]). Parmi les CCHN investiguées par la recherche en conduite on compte par exemple : les compétences d'exploration visuelle de la route [14], les compétences de conscience de la situation de conduite [15] ou les compétences spécifiques à la gestion des situations dangereuses [16]. De plus un ensemble de ressources et compétences personnelles peuvent intervenir sur le déploiement de ces compétences : la gestion de la fatigue et du stress ([2, p195] ; [17]) ou la capacité à réguler sa confiance en ses capacités de conduite par exemple [18].

Pour le domaine de la conduite, le projet MacCoy Critical a pour objectif de développer des environnements virtuels – et scénarios associés – qui visent dans un premier temps à mieux évaluer les CCHN pour, à terme, via la génération dynamique de scénarios virtuels adaptés, en accélérer l'amélioration.

L'activité médicale

Dans le domaine médical les situations critiques sont à l'origine de nombreuses erreurs voire d'accidents ([19], [20]). Selon le rapport *To Err Is Human*³, au moins 44 000 personnes décèdent chaque année aux Etats-Unis des suites d'erreurs médicales. Le rôle des facteurs organisationnels et humains est souvent difficile à définir de manière précise et à isoler, toutefois ce rapport souligne que l'argument des lacunes de Compétences Techniques des équipes soignantes ne peut à lui seul expliquer la survenue de ces accidents. Au-delà de questions organisationnelles, qu'il ne s'agit pas ici de minimiser, la littérature du domaine des risques et de la fiabilité des systèmes socio-techniques propose d'interroger également la part qui incomberait aux Compétences Non-Techniques. Les CNT sont étudiées dans le domaine médical depuis plusieurs années, souvent au regard d'une spécialité ou d'un métier particulier (chirurgien ; anesthésiste ; infirmier, etc.). Pour St Pierre, Hofinger & Buerschaper [19], les CNT peuvent être catégorisées en deux : les compétences interpersonnelles (communication, travail collaboratif et leadership) et les compétences cognitives (conscience de la situation, prise de décision et gestion des tâches). Flin, O'Connor & Crichton [2], ajoutent une troisième catégorie : la dimension personnelle (la Gestion du Stress et la Gestion de la Fatigue). La formation des compétences dans le domaine médical (CT et CNT) est effectuée pour une grande part en situation réelle de travail (ex : stages pratiques). Elle prend également place dans le cadre de

situations de simulation : mannequin haute-fidélité, jeux de rôle, etc. (voir partie suivante sur les simulateurs).

Côté médical, le projet MacCoy Critical vise à développer un environnement virtuel comprenant divers scénarios de situations critiques pouvant survenir durant une Hémorragie du Post Partum⁴ (appelé également HPP), afin d'entraîner les spécialistes métiers (sages-femmes, obstétriciens et anesthésistes), autant sur les Compétences Techniques (suivi de l'algorithme) que sur les Compétences Non-Techniques (communication, leadership, etc.).

3 Les simulateurs

Simulateur de conduite

Les simulateurs de conduite sont un outil central pour l'étude du développement des CCHN (ex. [16], [21]). D'un point de vue pratique, la simulation fournit une alternative intéressante pour l'entraînement des apprentis conducteurs. En effet, de manière économique, les instructeurs peuvent y contrôler tous les aspects clés de l'environnement virtuel de conduite, tant en termes de flexibilité que de sécurité [22]. Ainsi, plusieurs travaux montrent l'efficacité du simulateur pour développer de façon accélérée les Compétences Techniques (ex. diriger le véhicule) mais également les CCHN (ex. [23]).

Dans le cadre du projet MacCoy Critical, un simulateur pleine échelle est utilisé pour confronter des conducteurs novices à des situations critiques de conduite (voir Figure 1). L'objectif est double : (1) Développer des Indicateurs d'acquisition des CCHN : par comparaisons experts / novices ; (2) Identifier précisément les situations d'améliorations des CCHN. Pour construire des scénarios de conduite simulés permettant l'évaluation écologique de la mise en place des CCHN, nous avons effectué une première étude dans laquelle nous avons interrogé des conducteurs novices sur les situations critiques rencontrées durant les premiers temps de la conduite autonome. Nous avons : (A) recensé et caractérisé les situations critiques rencontrées par les conducteurs novices durant leur premier temps de conduite autonome, (B) recensé et caractérisé les améliorations en termes de CCHN constaté par les conducteurs à la suite de ces situations, et (C) relié statistiquement certaines situations critiques à certains types d'améliorations ([10], [11]). En résumé, les situations critiques rapportées par les jeunes novices adviennent essentiellement dans de bonnes conditions de conduite (par temps clair, le jour, en ligne droite) et impliquent généralement un autre usager de la route. Une action d'un autre usager de la route est par ailleurs rapportée par les novices comme étant la cause majoritaire de la situation critique. D'autres causes souvent rapportées sont notamment : la présence d'un obstacle sur la chaussée, une erreur de conduite du conducteur novice interrogé. Près de 90% des situations rapportées donnent lieu à la présence d'une amélioration en termes de CCHN, voir plus largement de CNT. Les améliorations les plus souvent citées sont : une meilleure exploration visuelle de la situation (plus large, mieux orientée), de meilleures stratégies comportementales d'appréhension de la route (ralentissement, évitement de zones à risques), une meilleure modulation des ressources attentionnelles, une meilleure compréhension et anticipation des situations et une meilleure

³ M.S. Donaldson, J.M. Corrigan, and L.T. Kohn, "To err is human: building a safer health system". National Academies Press, 2000.

⁴ Complication post-accouchement, survenant dans les 24 heures, dans laquelle la patiente perd au moins 500 ml de sang. La prise en charge doit

être rapide. Les praticiens suivent ce que l'on appelle dans le domaine médical un algorithme. Cette activité a été choisie car, au-delà de son aspect critique (première cause de mort maternelle ; [43]), elle est par essence collaborative et pluridisciplinaire.

gestion du stress et de la confiance en ses capacités de conduite. Quatre couples d'améliorations de CCHN/situations critiques sont identifiés statistiquement [11] : Des améliorations perceptives (exploration visuelle + modulation attentionnelle – adviennent dans des situations dynamiques et complexes ; action usager, obstacle, rond-point, virage) ; Des améliorations de gestion des ressources intra-personnelles adviennent dans des situations à basse vitesse ; Des améliorations d'adoption de stratégie comportementales de conduite ont lieu généralement à la suite de situation de perte de contrôle du véhicule en virage ; Enfin, des améliorations en termes d'anticipation et de compréhension de la situation ont lieu dans tous types de situations.



Figure 1 : Simulateur pleine échelle de l'IFSTTAR.

L'ensemble de ces informations, avec l'appui de la littérature, a été utilisé pour construire un corpus de 9 micro-scénarios critiques de conduite (MSC). Chacun des scénarios comporte un danger qui est soit de nature interne, soit de nature externe. Un danger interne est un danger advenant en conséquence d'une action du conducteur. Un danger externe est un danger n'advenant pas en conséquence d'une action du conducteur. Chaque danger externe est caractérisé par un précurseur : indices détectables par l'opérateur, qui vont précéder et annoncer le danger [24]. Il existe 2 types de précurseurs et ainsi 2 types de danger externe : Direct ou Indirect. Dans une situation, s'il existe une continuité perceptive entre le précurseur et le danger, on parlera de précurseur Direct du danger. *Exemple* : des enfants jouent au bord de la route, à la vue du conducteur (précurseur direct). Un des enfants décide de traverser inopinément (danger). Dans une situation, s'il n'existe pas de continuité perceptive entre le précurseur et le danger, on parlera de précurseur Indirect du danger. Dans ce cas, l'opérateur doit effectuer une hypothèse sur la présence éventuelle d'un danger, compte tenu de la configuration de l'environnement de conduite. *Exemple* : un camion garé sur le bas-côté cache la partie droite d'un passage piéton (précurseur indirect). Un joggeur traverse le passage piéton alors que le conducteur est en train de dépasser le camion (danger). Les 9 scénarios initiaux sont donc divisés en 3 groupes, pour chaque type de couple danger-précurseur : 3 scénarios de danger interne, 3 scénarios de danger externe-direct, 3 scénarios de danger externe indirect.

Simulation médicale

L'usage de la simulation médicale s'est considérablement développé depuis une vingtaine d'années ([25], [26], [27]). Elle s'est d'abord développée en Amérique du Nord avant d'être importée en Europe. Suite au rapport *To Err Is Human* évoqué précédemment la simulation médicale s'est imposée comme une méthode d'enseignement et de formation incontournable. Ce rapport a mis en évidence l'importance des facteurs humains dans la survenue des erreurs médicales, et propose la simulation

médicale comme l'un des moyens d'en réduire la fréquence ou les conséquences [25]. La simulation en santé a été définie par la Haute Autorité de Santé comme « correspondant à l'utilisation d'un matériel (comme un mannequin ou un simulateur procédural), de la réalité virtuelle ou d'un patient standardisé pour reproduire des situations ou des environnements de soin, dans le but d'enseigner des procédures diagnostiques et thérapeutiques et de répéter des processus, des concepts médicaux ou des prises de décision par un professionnel de santé ou une équipe de professionnels » (Chambre des représentants du 111e congrès des Etats-Unis, cité par [25]).

La simulation s'adresse à l'ensemble des professionnels de santé (professions médicales et paramédicales) et vise à :

- Former à des procédures, à des gestes ou à la prise en charge de situations ;
- Acquérir et réactualiser des connaissances et des compétences techniques et non-techniques (travail en équipe, communication entre professionnels, etc.) ;
- Analyser ses pratiques professionnelles en faisant porter un nouveau regard sur soi-même lors du débriefing ;
- Aborder les situations dites « à risque pour le patient » et améliorer la capacité à y faire face en participant à des scénarios qui peuvent être répétés ;
- Reconstituer des événements indésirables, les comprendre lors du débriefing et mettre en œuvre des actions d'amélioration de la qualité et de la sécurité des soins.

Il existe de nombreux types de simulation dans le domaine médical (voir figure 2), on peut par exemple citer la simulation animale, la simulation humaine (patient standardisé, jeux de rôle, etc.), la simulation synthétique (patient, procédure) ou encore la simulation électronique (réalité virtuelle/augmentée, etc.). Nous présentons ci-dessous les simulateurs de RV (1) et de Haute-Fidélité (2).

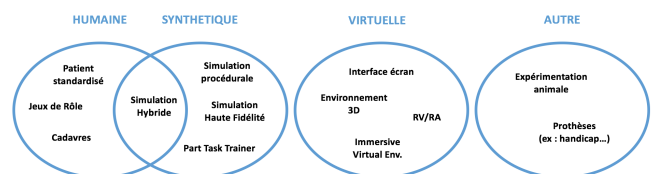


Figure 2 : Types de simulation dans le domaine médical ([25], [26]).

(1) Simulateur de Réalité Virtuelle : l'environnement 3D se rapproche par son réalisme des environnements de jeux vidéo les plus performants, même si le coût de création des environnements réalistes virtuels est très élevé. Ces techniques ne présentent pas en théorie de limite dans la diversité des situations qu'il est possible de créer, et permettent une immersion totale dans la situation mise en scène. Les jeux sérieux (en anglais Serious Games) sont 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. Ils combinent une intention sérieuse, de type pédagogique, informative, communicationnelle, ou d'entraînement avec des ressorts ludiques. Ils sont en quelque sorte une déclinaison utile du jeu vidéo au service des professionnels, notamment médicaux [27].

Dans le cadre du projet MacCoy, un simulateur utilisant un environnement de réalité virtuelle est utilisé pour entraîner les

professionnels médicaux à la gestion de situations critiques : la prise en charge d'une HPP (voir Figure 3). Le simulateur *PerinatSims*, développé par notre partenaire *Medusims*, propose de recréer une situation d'HPP afin d'entraîner les sages-femmes à sa prise en charge. Avec l'aide d'un expert médical (médecin anesthésiste réanimateur), nous avons créé 6 scénarios. Chaque scénario concerne la prise en charge d'une HPP (qui peut différer selon le dossier patiente, ex : âge, nombre et type d'accouchement passé⁵), auquel des événements critiques viennent s'ajouter. Parmi ces 6 scénarios, 3 événements mettent en jeu une problématique socio-organisationnelle (l'anesthésiste n'arrive pas en salle d'accouchement pour aider la sage-femme ; le père qui frappe à la porte de la salle d'accouchement ; l'équipe médicale qui n'arrive pas, laissant la sage-femme seule face à la situation) et les 3 autres une problématique médicale (HPP + allergie ; HPP + hypothermie ; HPP + désaturation). Des précurseurs Direct (apparition d'indice(s) visibles laissant envisager, sans ambiguïté, la présence d'un danger/d'une complication pouvant engendrer un accident, le diagnostic est posé ; ex : des rougeurs sur la peau de la patiente laissent présager une allergie éventuelle) et Indirect (présence d'indice(s) pouvant de manière hypothétique entraîner une complication, voire un accident, le diagnostic est en cours ; ex : la patiente verbalise qu'elle a froid) ont été intégrés au sein du logiciel afin d'introduire les scénarios.

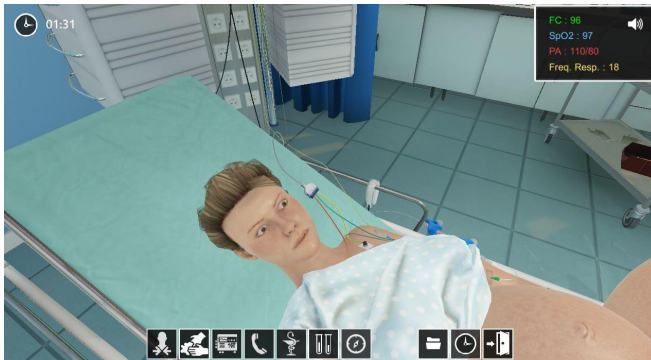


Figure 3 : Simulateur médical *PerinatSims* conçu par *Medusims*.

(2) Simulateur Haute-Fidélité : Dans le domaine médical, la simulation Haute-Fidélité est largement utilisée pour l'entraînement à la prise en charge de situations critiques, et notamment dans l'entraînement des CNT [28]. Elle se déroule généralement en 3 phases : un briefing pour présenter l'outil aux apprenants, les possibilités et les limites, la session de simulation comme illustré ci-dessous et un débriefing. Les simulateurs patients sont des mannequins grandeur nature (adulte, enfant, nourrisson) très réalistes. Pour les plus sophistiqués, ils peuvent être pilotés par ordinateur et ont la possibilité de respirer, de parler, et de réagir à des stimuli. Les mannequins obéissent à un scénario préétabli ; le formateur peut faire varier leurs constantes vitales et leur état clinique. Contextualisées dans une salle d'opération ou de réanimation, les situations cliniques vécues le plus souvent en équipe sont extrêmement proches de la réalité (voir figure 4 ci-dessous).

⁵ Exemple d'introduction du dossier patiente au sein du logiciel : « Madame Dinechin, 29 ans, vient d'accoucher de son premier enfant. Elle ne se sent pas bien en salle de naissance. Madame Dinechin n'a pas d'antécédents, ni d'allergie connue, ni de critères d'intubation difficile. Elle dispose de sa carte complète de groupe sanguin (AB+) et de RAI à jour ».

Nous prévoyons d'avoir recours à ce type de simulation afin de valider l'apprentissage de l'équipe soignante qui aura été au préalable entraînée sur notre simulateur de RV (*PerinatSims*).



Figure 4 : Exercice de prise en charge d'une HPP en Haute-Fidélité.

4 Diagnostic

Comme présenté ci-dessus, la formation aux CNT à l'intérieur d'un EV est un problème complexe, lié aux connexions fortes entre CNT, compétences techniques et situations critiques. Le module du diagnostic vise à établir une évaluation des capacités de l'apprenant à faire face aux situations critiques proposées par l'EV. Cette évaluation permet en retour au modèle décisionnel de fournir des rétroactions adaptées aux spécificités de ce dernier, notamment pour la génération de nouvelles situations critiques.

L'un des verrous majeurs pour le diagnostic des CNT tient au fait que celles-ci s'entremêlent avec les compétences techniques au sein d'une même activité perceptivo-gestuelle [29], ce qui complexifie leur diagnostic ; cette tâche peut ainsi être qualifiée de mal-définie [29]. Nous nous sommes orientés vers l'utilisation d'une approche hybride [30] afin d'effectuer ce diagnostic.

Dans un premier temps, nous cherchons à extraire une estimation de l'influence des CNT sur la performance générale de l'apprenant via l'utilisation de techniques d'apprentissage machine supervisé. Elles sont appliquées sur une couche d'indicateurs de haut niveau, générés à partir des traces d'activité de l'apprenant. Cette approche, présentée en détails dans [31], est couplée aux informations issues des marqueurs comportementaux de CNT identifiées par nos partenaires. Elles sont spécifiques à un domaine et à une situation critique donnée, extraites à partir de règles expertes appliquées aux traces d'activité de l'apprenant à l'intérieur de l'EV. La conjonction d'informations issues d'une part de la fouille de données et de règles expertes, permet par inférence d'estimer l'influence séparée de chaque CNT sur la performance globale de l'apprenant lors d'une situation critique.

5 Modification dynamique de scénarios

Lorsque le diagnostic de l'apprenant est établi, une consigne pédagogique est envoyée au Système de Scénarisation⁶. Cette consigne est composée (1) d'une intention pédagogique comme vérifier, renforcer, déstabiliser une ou des Compétence(s) Non-

⁶ Un Système de Scénarisation est composé d'un ou plusieurs langages de scénarisation permettant de modéliser le contenu scénaristique et/ou les objectifs scénaristiques, et d'un moteur de scénarisation permettant de gérer de manière dynamique la réalisation du scénario.

Technique(s) et (2) un degré de criticité à respecter. Elle est traduite ensuite en objectifs scénaristiques par le « Moteur de Scénarisation », qui les envoie au « Planner ». Ce dernier communique directement avec l'environnement virtuel et réalise les ajustements adéquats afin de diriger la simulation vers la situation qui respecte les objectifs scénaristiques (voir Figure 5).

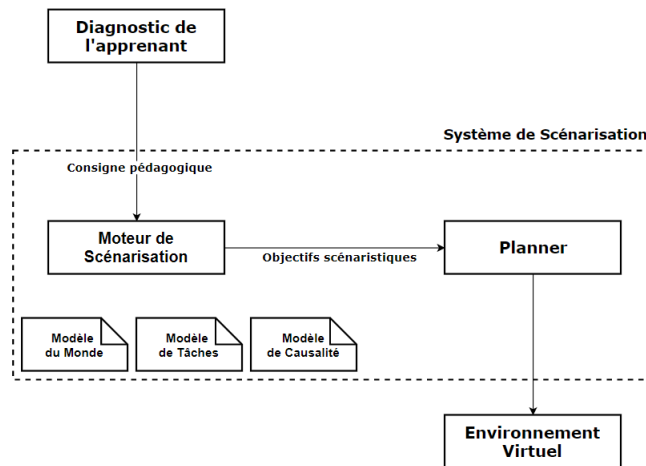


Figure 5 : Système de Scénarisation.

Afin de répondre au mieux aux consignes pédagogiques, il est nécessaire de pouvoir générer un large spectre de scénarios critiques et non critiques. L'écriture de tels scénarios est un travail conséquent qui conduit, lors du passage à l'échelle, à ce qu'on appelle l'*Authoring Bottleneck* [32]. Il est alors nécessaire de mettre en place un système de scénarisation permettant de créer des environnements adaptables, sans avoir à définir explicitement l'intégralité des scénarios possibles. Nous faisons l'hypothèse qu'il est possible de générer dynamiquement et automatiquement ces scénarios à partir de modèles de connaissances qui sous-tendent la simulation.

Dans le cadre du projet, nous nous intéressons particulièrement à la génération de situations critiques. Parmi celles-ci figurent les dilemmes. Ces derniers se réfèrent aux situations où il n'existe pas de bonne solution. Nous avons proposé un Système de Scénarisation capable de générer des dilemmes à partir des modèles de la simulation (modèle du monde, modèle de tâches et modèle de causalité) sans avoir à les écrire au préalable. Plus de détails sur cette contribution sont fournis dans [33].

6 L'évaluation

Evaluation dans le domaine de la conduite

Dans la conduite, l'évaluation des CCHN peut prendre de nombreuses formes. Par exemple, on se concentrera sur l'analyse du comportement de conduite pour évaluer les capacités de prise de décision en situation dangereuse. On analysera, via des mesures oculométriques, les stratégies d'exploration visuelle de la situation dangereuse pour évaluer les capacités de mise en place d'une bonne conscience de la situation et les facultés de perception du danger [16]. On se basera, d'un point de vue théorique, sur une combinaison de ces deux derniers indices réunis pour l'analyse des capacités de gestion des dangers [34], mais aussi sur des mesures de variations des constantes physiologiques : variation des rythmes cardio-vasculaires et variation de la conductance cutanée, pour les facultés de gestion des émotions et du stress [17], voire également les facultés de perception du danger ([24], [35]).

Dans le projet MacCoy, du point de vue de la conduite, l'objectif est d'utiliser l'ensemble des indices présentés ci-dessus pour mettre au point un ensemble d'indicateurs d'acquisition des CCHN, qui soit à la fois écologique et intégratif. En effet, à notre connaissance, il n'y a pas dans la littérature sur la conduite, d'outil d'évaluation des CCHN combinant l'ensemble de ces mesures comportementales, oculométriques et physiologiques en indicateurs objectifs de maîtrise des CCHN.

Evaluation dans le domaine médical

Dans la littérature médicale, l'évaluation des CNT est effectuée essentiellement à travers l'usage de grilles de codage (ou *check-lists*), renseignées *a posteriori* par des experts du domaine étudié [36]. Il existe de multiples items visant à repérer la présence chez les praticiens d'attitudes ou de comportements en lien avec ces CNT. Par exemple dans le NOTECHS [37], un marqueur comportemental de la catégorie « Communication » est : « Attentes de feedback de compréhension ». Cet item, associé à d'autres, permet une validation experte en allo-confrontation de la qualité de la communication chez le praticien et/ou l'équipe. Ces modèles se situent donc sur le versant des évaluations sommatives où il s'agit de vérifier que les comportements attendus (prescrits) sont observés en situation.

Hormis l'évaluation des CNT par check-list (présence/absence et intensité), nous pouvons évoquer l'usage de méthodes d'analyse observationnelles et discursives ([38], [39]), ainsi que certaines méthodes de recueil (échelle de mesure du stress avec le *State-Trait Anxiety Inventory*, [40] ; échelle de mesure de la fatigue avec la *Karolinska Sleepiness Scale*, [41] ; échelle de mesure du leadership avec le *Strategies for Leadership Survey*, [42], etc.) Nous prévoyons enfin, comme dans la partie conduite, d'avoir recours à des mesures oculométriques afin d'analyser l'exploration visuelle des apprenants (ex : direction de regard sur le scope). Chacune de ces méthodes permet d'évaluer une ou plusieurs compétences, selon une approche sommative ou formative.

7 Conclusion

Les Compétences Non-Techniques peuvent être à l'origine de nombreux incidents et accidents dans les activités quotidiennes comme la conduite et professionnelles comme la médecine. Nous venons de présenter dans cet article un projet qui vise à étudier et améliorer les systèmes de formation des CNT par le recours à la simulation et aux Environnements Virtuels. Les EV présentés ici sont actuellement en cours d'expérimentation afin d'évaluer l'acquisition des CNT/CT/CCHN auprès de conducteurs novices et de professionnels médicaux. Notre dernier objectif au sein de ce projet sera de rendre ces EV totalement autonomes en intégrant des boucles de rétroaction qui s'adaptent à l'apprenant (ex : entraîner une compétence présentant des lacunes).

REFERENCES

- [1] J-M. Burkhardt, D. Lourdeaux, D. and D. Mellet d'Huart, "La réalité virtuelle pour l'apprentissage humain". In P. Fuchs, G. Moreau, B. Arnaldi & P. Guitton (Eds.), *Le Traité de la Réalité Virtuelle* (Vol. 4), pp 43-102. Paris : Presses de l'Ecole des Mines de Paris, 2006.
- [2] R.H. Flin, P. O'Connor, and M. Crichton, *Safety at the sharp end: a guide to non-technical skills*, Ashgate Publishing, 2008.

- [3] M.S. Donaldson, J.M. Corrigan, and L.T. Kohn, "To err is human: building a safer health system", National Academies Press, 2006.
- [4] J.A. Groeger, *Understanding driving: applying cognitive psychology to a complex everyday task*. UK: Psychology Press, 2000.
- [5] B. Peters and L. Nilsson, "Modelling the Driver in Control". In *Modelling Driver Behaviour in Automotive Environments*. London: Springer London, 2007.
- [6] C. Mundutéguy and F. Darses, "Perception et anticipation du comportement d'autrui en situation simulée de conduite automobile". *Le Travail Humain* 0(1), 1-32, 2007.
- [7] S.G Klauer, T.A. Dingus, V.L. Neale, J.D. Sudweeks, and D.J. Ramsey, "The Impact of Driver Inattention On Near Crash/Crash Risk: An Analysis Using the 100-Car Naturalistic Driving Study Data". *Analysis*, 594(April), 226, 2006.
- [8] F. Cnossen, T. Meijman, and T. Rothengatter, "Adaptive strategy changes as a function of task demands: a study of car drivers". *Ergonomics*, 47(2), 218-236, 2004.
- [9] A.T. McCartt, V.I. Shabanova, and W.A. Leaf, "Driving experience, crashes and traffic citations of teenage beginning drivers". *Accident Analysis and Prevention*, 35(3), 311-320, 2003.
- [10] V. Corneloup and J-M. Burkhardt, "An Exploratory Study of Higher Order Driving Skills and Difficult Situations Experienced by Novice Drivers During Their First Months of Driving to Develop Simulation-based Training". In *Proceedings of the European Conference on Cognitive Ergonomics - ECCE '16* (pp. 1-8). New York, New York, USA: ACM Press, 2016.
- [11] V. Corneloup and J-M. Burkhardt, "Liens entre situations critiques vécues en conduite et apprentissage au cours des premiers mois de la conduite: un focus sur le développement des compétences de conduite de haut niveau". *Colloque EPIQUE 17*, Dijon, 2017.
- [12] H.A. Deery, "Hazard and Risk Perception among Young Novice Drivers". *Journal of Safety Research*, 30(4), 225-236, 1999.
- [13] J.A. McKnight and S.A. McKnight, "Young novice drivers: Careless or clueless?" *Accident Analysis and Prevention*, 35(6), 921-925, 2003.
- [14] A.E. Curry, J. Hafetz, M.J. Kallan, F.K. Winston, and D.R. Durbin, "Prevalence of teen driver errors leading to serious motor vehicle crashes". *Accident; Analysis and Prevention*, 43(4), 1285-1290, 2011.
- [15] P.M. Salmon, N.A. Stanton, and K.L. Young, "Situation awareness on the road: review, theoretical and methodological issues, and future directions". *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 13(4), 472-492, 2012.
- [16] D. Crundall, "Hazard prediction discriminates between novice and experienced drivers". *Accident Analysis & Prevention*, 86, 47-58, 2016.
- [17] J.A. Healey and R.W. Picard, "Detecting stress during real-world driving tasks using physiological sensors". *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 6(2), 156-166, 2005.
- [18] J-P. Assailly, "Comment appliquer la matrice GDE ? Quelles adaptations aux facteurs de risque d'accidents des jeunes conducteurs novices ?" *Recherche Transports Sécurité* (1-2), 69-80, 2016.
- [19] M. St Pierre, G. Hofinger, and C. Buerschaper, *Crisis management in acute care settings: human factors and team psychology in a high stakes environment*. NY: Springer, 2008.
- [20] M.A. Makary and M. Daniel, "Medical error-the third leading cause of death in the US". *BMJ: British Medical Journal (Online)*, 353, 2016.
- [21] A.K. Pradhan, K.R. Hammel, R. Deramus, A. Pollatsek, and A. David, "Using Eye Movements To Evaluate Effects of Driver Age on Risk Perception in a Driving Simulator", *Human factors*, 47(4), 840-852, 2005.
- [22] J.J. Jelmer and J.J. Slob, "State-of-the-Art driving simulators, a literature survey". *DCT Report*, 2008.
- [23] W. Vlakveld, M. Romoser, H. Mehranian, F. Diete, A. Pollatsek, and D. Fisher, "Do Crashes and Near Crashes in Simulator-Based Training Enhance Novice Drivers' Visual Search for Latent Hazards?" *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2265(2), 153-160., 2011.
- [24] D. Crundall, P. Chapman, N. Phelps, and G. Underwood, "Eye movements and hazard perception in police pursuit and emergency response driving". *Journal of Experimental Psychology. Applied*, 9(3), 163-174, 2003.
- [25] J.C. Granry and M.C. Moll, "État de l'art (national et international) en matière de pratiques de simulation dans le domaine de la santé". Rapport de Mission de la Haute Autorité de Santé, 2012.
- [26] G. Alinier, "A typology of educationally focused medical simulation tools". *Medical teacher*, 29(8), e243-e250, 2007.
- [27] D. Drummond, A. Hadchouel, and A. Tesnière, "Serious games for health: three steps forwards". *Advances in Simulation*, 2(3), 1-8, 2017.
- [28] R. Lewis, A. Strachan, and M.M. Smith, "Is high fidelity simulation the most effective method for the development of non-technical skills in nursing? A review of the current evidence". *The open nursing journal*, 6, 82-89, 2012.
- [29] Y. Bourrier, F. Jambon, C. Garbay, and V. Luengo, "An Approach to the TEL Teaching of Non-technical Skills from the Perspective of an Ill-Defined Problem". In *European Conference on Technology Enhanced Learning* (pp. 555-558). Springer International Publishing, 2016.
- [30] P. Fournier-Viger, R. Nkambou, and E.M. Nguifo, "Building intelligent tutoring systems for ill-defined domains". In *Advances in intelligent tutoring systems* (pp. 81-101). Springer Berlin Heidelberg, 2010.

- [31] Y. Bourrier, F. Jambon, C. Garbay, and V. Luengo, “Une architecture multi-couche pour l’analyse des compétences non techniques en situation critique”. *International Conference on Artificial Intelligence in Education* (pp. 463-466). Springer, Cham, 2017.
- [32] U. Spierling and N. Szilas, “Authoring issues beyond tools”. In *Joint International Conference on Interactive Digital Storytelling* (pp. 50-61). Springer, Berlin, Heidelberg, 2009.
- [33] A. Benabbou, D. Lourdeaux, and D. Lenne, “Génération dynamique de dilemmes en environnement virtuel à partir de modèles de connaissances”. In *8ème Conférence sur les Environnements Informatiques pour l’Apprentissage Humain*, Strasbourg, 2017.
- [34] C.C. McDonald, A.H. Goodwin, A.K. Pradhan, M.R.E. Romoser, and A.F.A. Williams, “A Review of Hazard Anticipation Training Programs for Young Drivers”. *Journal of Adolescent Health*, 57(1), S15–S23, 2015.
- [35] N.A.D. Kinnear and S. Helman, “Updating Risk Allostasis Theory to Better Understand Behavioural Adaptation”. *Behavioural Adaptation and Road Safety*, 87–110, 2013.
- [36] S. Cooper, R. Endacott, and R. Cant, “Measuring non-technical skills in medical emergency care: a review of assessment measures”. *Open access emergency medicine: OAEM*, 2,7, 2010.
- [37] N. Sevdalis, R. Davis, M. Koutantji, S. Undre, A. Darzi, and C.A. Vincent, “Reliability of a revised NOTECHS scale for use in surgical teams”. *The American Journal of Surgery*, 196(2), 184-190, 2008.
- [38] A. Blanchet, R. Ghiglione, J. Massonnat, and A. Trognon, *Les techniques d’enquête en sciences sociales*. Paris: Dunod, 1998.
- [39] H. Norimatsu and N. Pigem, *Les techniques d’observations en sciences humaines*. Paris: Armand Colin, 2008.
- [40] C.D. Spielberger, R.L. Gorsuch, R. Lushene, P. Vagg, and G. Jacobs, *Manual for the State-Trait Anxiety Inventory (Form Y)*. Palo Alto: Mind Garden, Palo Alto, 1983.
- [41] T. Åkerstedt and M. Gillberg, “Subjective and objective sleepiness in the active individual”. *International Journal of Neuroscience*, 52(1-2), 29-37, 1990.
- [42] P.J. Pronovost, B. Weast, C.G. Holzmüller, B.J. Rosenstein, R.P. Kidwell, K.B. Haller, ... and H.R. Rubin, “Evaluation of the culture of safety: survey of clinicians and managers in an academic medical center”. *Quality and safety in health care*, 12(6), 405-410, 2003.
- [43] M.H. Bouvier-Colle, “Epidémiologie de la mortalité maternelle en France, fréquence et caractéristiques”. *Réanimation*, 16(5), 358-365, 2007.