



HAL
open science

Renforcement des compétences non-techniques dans un contexte inter-métiers, par la formation en réalité virtuelle

Nicolas Renoir, Stella Duvenci-Langa, Catherine Le Goff, Christian Blatter,
Pierre Gibbe, Fabien Létourneaux, Cyril Cappi, Paul Michael Hernandez,
Olivier Salvon

► **To cite this version:**

Nicolas Renoir, Stella Duvenci-Langa, Catherine Le Goff, Christian Blatter, Pierre Gibbe, et al.. Renforcement des compétences non-techniques dans un contexte inter-métiers, par la formation en réalité virtuelle. Congrès Lambda Mu 22 “ Les risques au cœur des transitions ” (e-congrès) - 22e Congrès de Maîtrise des Risques et de Sécurité de Fonctionnement, Institut pour la Maîtrise des, Oct 2020, Le Havre, France. hal-03348009

HAL Id: hal-03348009

<https://hal.science/hal-03348009v1>

Submitted on 17 Sep 2021

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.



Renforcement des compétences non-techniques dans un contexte inter-métiers, par la formation en réalité virtuelle

Using virtual reality simulation to reinforce non- technical skills in teamwork

RENOIR Nicolas
Innovation & Recherche
SNCF
La Plaine Saint-Denis, France
nicolas.renoir@sncf.fr

BLATTER Christian
Expert FOH
Consultant
Paris, France
cblatter@sfr.fr

CAPPI Cyril
Innovation & Recherche
SNCF
La Plaine Saint-Denis, France
cyril.cappi@sncf.fr

DUVENCI LANGA Stella
Direction Technique Réseau
SNCF Réseau
Paris, France
stella.duvenci-langa@reseau.sncf.fr

GIBBE Pierre
Université de l'ingénierie
SNCF Réseau
La Plaine Saint-Denis, France
pierre.gibbe@udi-sncf.com

HERNANDEZ Michaël
Agence d'Essai Ferroviaire
SNCF Voyageurs
Vitry sur Seine, France
michael.hernandez@sncf.fr

LE GOFF Catherine
Direction Générale IDF
SNCF Réseau
La Plaine Saint-Denis, France
catherine.legoff@reseau.sncf.fr

LETOURNEAUX Fabien
Innovation & Recherche
SNCF
La Plaine Saint-Denis, France
fabien.letourneaux@sncf.fr

SALVON Olivier
Etablissement traction TGV Sud-Est
SNCF Voyageurs
Dijon, France
olivier.salvon@sncf.fr

Résumé — Des études en sécurité ont montré que l'insuffisante prise en compte des Compétences Non Techniques (CNT) chez les opérateurs ferroviaires est régulièrement questionnée dans les rapports d'incidentologie. Si la formation à la SNCF met largement l'accent sur les compétences techniques, la défaillance au niveau des CNT, dans un contexte inter-métiers, est souvent mise en cause. Les auteurs ont conçu une formation en réalité virtuelle qui met l'accent sur les CNT par une approche pédagogique innovante.

Après avoir présenté les travaux et orientations à l'origine de la réflexion, la démarche pédagogique pour le développement des CNT est exposée. Des exercices pédagogiques fondés sur un scénario mettant en œuvre un agent de conduite et un agent circulation en réalité virtuelle sont présentés. Le prototype développé pour la formation ainsi que la démarche d'évaluation de celui-ci sont décrits. Des expérimentations sont en cours et des premiers résultats sont présentés.

Abstract — Safety studies have shown that the lack of non-technical skills (NTS) among railway operators is regularly questioned in incidentology reports. While SNCF professional training places a strong emphasis on technical skills, the failure at CNTs level, especially while operators have to work together, is often called into question.

The authors have designed a virtual reality training that focuses on CNTs through an innovative pedagogical approach.

After having presented the work and orientations at the origin of the reflection, the pedagogical approach for the development of CNTs is presented. Pedagogical exercises based on a scenario involving a conductor and a network controller in virtual reality are presented. The prototype developed for the training as well as its evaluation approach are described. Experiments are underway and initial results are presented.

Mots clés— *formation professionnelle, inter-métiers, compétences non-techniques, réalité virtuelle, sécurité*

Keywords— *professional training, teaming, non-technical skills, virtual reality, safety*

I. INTRODUCTION

Le renforcement de l'expertise technique des opérateurs ne suffit plus dans la poursuite de la réduction du nombre d'évènements sécurité au sein de SNCF et en particulier ceux liés à la circulation des trains. Nombre de rapports d'évènements suggèrent en effet que le savoir-être, en complément du savoir et du savoir-faire, constitue un autre facteur clé. Une estimation comparée entre la formation et

l'incidentologie montre notamment que 10% des formations s'intéressent à ces savoir-être alors qu'ils représentent 90% des raisons des causes des incidents (Figure 1).

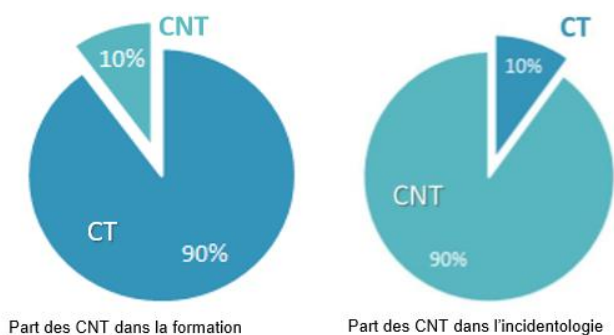


Figure 1: Estimation comparée de la part des CNT dans la formation et dans l'incidentologie à la SNCF, [15]

Cette prise de conscience, initiée dès 2009 au sein de SNCF, par une démarche de type CRM¹, s'est traduite plus récemment dans le programme d'excellence sécurité PRISME² par le lancement de deux « Train de la Sécurité » (opération de sensibilisation destinée à un public interne) en 2017 et 2018. L'accent était notamment mis sur les problématiques de coopération, pour lutter contre les effets de « silo » induits par l'organisation de l'entreprise en métiers. En mars 2019, le Directeur Général de la Sécurité (DGS) de la SNCF a souhaité poursuivre et accentuer cette démarche en proposant le développement d'un dispositif de simulation inter-métiers pour la formation. Un groupe d'experts internes pluridisciplinaires³ a ainsi été mandaté pour proposer une première preuve de concept avant la fin d'année. Après une première phase d'étude sur l'état de l'art des approches et techniques pédagogiques et des simulateurs permettant de répondre au besoin, un cahier des charges pour un simulateur "flexible" basé sur la réalité virtuelle a été émis. Un premier prototype a été produit par la suite avec l'aide d'une start-up, sur la base d'un scénario sélectionné avec les entités "métiers". Les premières expérimentations sont en cours. L'ensemble des étapes du projet et son état d'avancement sont présentés dans la suite de cette communication.

II. COMPETENCES NON TECHNIQUES DANS LE FERROVIAIRE

A. Les Compétences Non Techniques (CNT)

La compétence est la capacité à mobiliser ses différentes ressources dans une situation donnée pour exercer une activité professionnelle. Les ressources mobilisées par les

savoirs, savoir-faire techniques et réglementaires ne peuvent suffire à elles seules pour gérer efficacement la variabilité et la diversité des situations. La fiabilité de ces situations est aussi le résultat de la mise en œuvre des compétences dites « non techniques ». Ces compétences constituent un levier puissant pour gérer sa propre capacité interne, soumise à de nombreuses variations elle aussi, en réponse aux facteurs internes et externes influençant les individus et les collectifs.

Cette notion de Compétences Non Techniques a été initialement utilisée dans le domaine aéronautique et étendue à d'autres secteurs d'activité où prédominait une vision technique des métiers opérationnels [7].

Les CNT désignent ainsi les compétences de gestion des ressources individuelles (la forme physique, la perception, l'attention, la mémoire, la confiance en soi et l'estime de soi, etc.), sociales (l'entraide et les relations de confiance dans un collectif, les informations et connaissances détenues par les autres, leurs capacité de jugement) et techniques (les installations, les procédures, les documents techniques ou les outils) qui, en complément des compétences techniques contribuent à obtenir une action efficace et sûre [15]

B. Le développement des CNT à SNCF

Le développement des CNT nécessite à la fois des actions de formation spécifiques en complément des formations techniques métier et aussi des évolutions dans le management et l'organisation de la sécurité pour favoriser leur mise en œuvre.

Les premières démarche de développement des CNT à la SNCF datent de 2009 avec l'adaptation de la démarche CRM¹ issue de l'aérien [6].

Cet engagement s'est renforcé avec le programme d'excellence sécurité PRISME² à partir de 2015. Les multiples formations et sensibilisations déployées auprès des agents de l'encadrement n'ont pas encore donné les résultats escomptés. En effet les conditions du développement des CNT dépassent très largement les objectifs assignés habituellement à une formation. L'ancrage des CNT est obtenu par des actions sur plusieurs niveaux : cognitif (conscience des risques), social (collectif), technique (conception) et organisationnel (management, stratégie, prescriptions) [10].

La SNCF a ainsi engagé une campagne de renforcement des CNT de plus grande ampleur depuis 2019. Les actions menées portent sur des communications périodiques de sensibilisation (vidéos, fiches, animations thématiques), l'écriture d'un guide de déploiement, la formation des formateurs et des concepteurs en plus de celles des managers et opérateurs, la montée en compétence des référents Facteurs Organisationnels et Humains (FOH) présents au plus près du terrain, l'intégration des CNT dans toutes les formations techniques initiales et continues.

Enfin, sur le plan pédagogique, l'ancrage des CNT par jeux de rôle est fortement plébiscité par les formateurs. Le jeu de rôle est reconnu comme méthode d'apprentissage actif pour la formation aux CNT [12]. L'apprenant est au centre de son propre processus d'apprentissage et le formateur peut jouer le rôle de « facilitateur » de l'apprentissage [5]. Pour les concevoir, il est nécessaire de se baser sur une formalisation des CNT.

¹ Acronyme de Conscience des Risques Métiers, traduction adaptée de *Crew Resource Management*

² PRISME est le programme stratégique de transformation vers l'excellence sécurité mis en place à SNCF en 2015. L'acronyme signifie « comportements Proactifs - analyse par les Risques - maîtrise des Interfaces - Simplification des procédures – conditions Managériales de l'implication - outils et Equipements à la pointe du digital et de l'innovation »

³ Réseau d'experts « Synapses » de SNCF

C. La formalisation des CNT pour la formation.

Des recherches récentes sur la conduite de train ont permis de déterminer les 7 catégories qui regroupent 26 CNT entrant en jeu dans le domaine ferroviaire [15]. Ceux-ci ont été obtenus à partir d'une d'analyse structurée s'appuyant sur une revue de la littérature, une analyse des CNT dans d'autres industries, des ateliers de validation de l'analyse des tâches des conducteurs de train au Royaume-Uni, ainsi qu'une analyse d'incidents et d'essais sur simulateur.

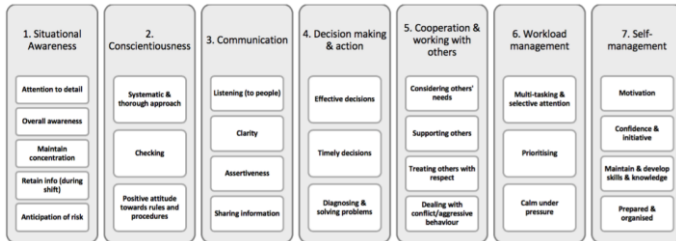


Figure 2: RSSB - Les sept catégories principales et 26 CNT des conducteurs de train [15]

Les 7 catégories illustrées dans la Figure 2 correspondent aux domaines FOH de la performance du système ferroviaire. Il s'agit plus particulièrement de : 1. La conscience de la situation, 2. La conscience professionnelle, 3. La communication, 4. La prise de décision, 5. La coopération, 6. La gestion de la charge de travail, 7. La gestion de soi.

Contrairement aux compétences dites techniques, les CNT sont difficilement quantifiables [3]. L'approche par marqueurs comportementaux présente de nombreux avantages :

- Rendre les CNT tangibles car décrites à partir d'observables ;
- Obtenir le consensus auprès des formateurs et des agents opérationnels par l'existence d'un cadre et vocabulaire commun ;
- Permettre de catégoriser les comportements en pratiques favorables ou défavorables à la sécurité ;
- Aller au-delà de l'intuition en apportant une description des comportements.

A titre d'exemple, la Figure 3 illustre les marqueurs favorables et défavorables de la CNT « partage de l'information » (Domaine Communication) dans le ferroviaire.

Positive markers	Negative markers
Shares information that is relevant to customers and colleagues, in appropriate level of detail	Does not share relevant information with colleagues or customers, or shares information that is irrelevant
Reports hazards to colleagues/ customers as appropriate	Does not report hazards to colleagues or customers
Completes relevant forms, providing appropriate level of detail	Does not complete relevant forms or omits important information
Shares information at appropriate time e.g. informs colleagues as much in advance as possible if unable to make duty on time	Does not correctly evaluate how time-critical information is and shares information too late

Figure 3: Marqueurs comportementaux de la CNT "Partage de l'information" Erreur ! Source du renvoi introuvable.

Les CNT peuvent donc être utilisées avec les compétences techniques pour améliorer la manière dont une tâche ou une procédure est exécutée. Leur maîtrise par les opérateurs permet d'accroître la sécurité en aidant à gérer les menaces et les erreurs lorsqu'elles se produisent. L'approche par marqueurs comportementaux permet de rendre les CNT objectivables. Cependant, afin de permettre l'encadrement des CNT, une pédagogie et des outils de simulation pour mettre en œuvre des jeux de rôle sont nécessaires.

III. ETAT DE L'ART ET BENCHMARK SUR LA FORMATION AUX CNT EN SIMULATION

La première phase de ce projet a consisté à faire un tour d'horizon de la formation en simulation. Elle a été réalisée en 3 étapes : une revue bibliographique des théories pédagogiques pour la simulation des situations problématiques de sécurité, un panorama des outils et méthodes de simulation avec un focus sur la méthodologie de simulation, l'élaboration d'une critériologie d'évaluation des méthodes et techniques de simulation permettant de réaliser un benchmark interne et externe.

A. Les théories pédagogiques

Les différentes théories pédagogiques existantes possèdent chacune leurs avantages et leurs limites relativement à l'acquisition de savoirs et savoir-faire de sécurité en formation par la simulation.

Le **behaviorisme** (Thorndike, Watson, Pavlov) est à la base des apprentissages par conditionnement et renforcement, tels que l'enseignement programmé. S'il permet d'apprendre à identifier les stimuli précurseurs de danger, à mettre les individus en alerte et à « modeler » leurs comportements, ce mode d'apprentissage ne tient pas compte de mécanismes internes comme la conscience, la motivation, aussi lorsque le stimulus déclencheur disparaît, l'individu perd sa capacité à percevoir le risque et sa signification. Le **constructivisme** (Piaget, Wallon) s'appuie sur la découverte de stades de développement de l'intelligence et de la personnalité chez l'enfant. Adapté à la formation des adultes (Vermeersch), il permet, au travers des méthodes actives, d'appréhender des concepts abstraits à partir de l'expérience de la réalité, effective ou simulée. La didactique professionnelle (Pastré) a beaucoup contribué à la scénarisation des situations simulées (par ex. conception de SimulCep 3D, simulateur de taille de la vigne). Toutefois, pour certains neuropsychologues (Dehaene), l'environnement d'apprentissage ne peut être complètement libre, il doit être structuré, progressif, explicite au travers de démonstrations et guidé par des formateurs. Le **cognitivism**, issu des travaux des théoriciens de la Gestaltpsychologie, s'est renouvelé avec l'apport des sciences cognitives (psychologie, ergonomie, intelligence artificielle, linguistique...) sur les modèles du fonctionnement mental. L'apprentissage s'appuie sur plusieurs modalités sensorielles ou cognitives, ce qui donne tout son intérêt aux supports de formation multimédia. Le simulateur de formation, en reproduisant le contexte des situations de référence, permet aussi de favoriser le rappel en mémoire, indispensable pour faire face aux situations rares et à risque. Les constructivistes et cognitivistes ont montré l'importance des représentations mentales, et sur le plan pédagogique, l'enjeu de provoquer un conflit cognitif chez l'apprenant afin d'entraîner chez lui une remise en question

de ses représentations premières (savoirs naïfs, croyances ancrées) et d'en créer de nouvelles plus adaptées. L'un des intérêts de l'approche cognitive réside également dans le fait de concevoir des outils numériques pouvant modéliser le raisonnement humain, mais aussi ses limites, comme les mécanismes de production d'erreurs et d'omission. Il a parfois été reproché à l'approche cognitive d'assimiler le fonctionnement humain à celui d'une machine, en omettant par exemple le rôle de l'émotion et des affects dans l'activation de l'attention ou l'encodage en mémoire. Les approches pédagogiques inspirées de **l'approche non-directive** (Rogers), souvent mises en œuvre dans les méthodes de simulation, s'appuient sur l'autodétermination par l'apprenant. Par la suite, Knowles, avec l'andragogie, prône l'exigence pour l'apprenant de se sentir autonome, acteur de sa formation plutôt que sujet passif, le besoin de vivre des expériences réussies ou non, d'apprendre à partir de cas-problèmes, plutôt que par simple transmission descendante de connaissances. Si l'on se forme seul, on ne peut jamais apprendre sans les autres : diverses approches ont montré le rôle d'autrui (Bandura) comme modèle renforçateur des comportements ou celui du collectif (Vygotsky) comme potentialisateur de l'acquisition des connaissances. D'où l'importance du débat entre formés et du debriefing collectif. Toutes ces approches, en conférant une plus grande autonomie à l'apprenant, en favorisant l'expérience individuelle mais aussi la confrontation collective des points de vue, ont ouvert le champ de l'usage des outils d'apprentissage comme les réseaux sociaux (chats, forums, dispositifs de formation ouverte et à distance tels que classes virtuelles...). Ces différentes théories n'ont pas été pensées au départ pour la formation en simulation, mais elles ont été complétées, au travers des nouveaux outils utilisant les Environnements Virtuels (EV) par des apports théoriques spécifiques [4] portant sur les critères d'immersion (degré avec lequel l'interface contrôle les entrées sensorielles pour chaque modalité de perception et d'action), de présence (expérience perceptive et cognitive de l'utilisateur au cours de son activité en EV) et réalisme (fidélité spatiale, temporelle, perceptive, par rapport à la tâche à réaliser).

B. Panorama des outils et méthodes de formation en simulation

Différentes technologies d'apprentissage par la simulation existent : simulateurs numériques reproduisant quasiment à l'identique les caractéristiques physiques des situations de référence, simulateurs à base de Réalité Virtuelle ou Augmentée, *serious games* s'inspirant du domaine des jeux vidéo, dispositifs de formation interactifs à base de cas ou situations-problèmes, outils de formation à distance, etc. La Table 1 montre par exemple les avantages et inconvénients de la Réalité Virtuelle (RV), tant pour l'apprenant que pour le formateur.

Avantage	Limites
<ul style="list-style-type: none"> • Visualiser les conséquences de ses erreurs • Pouvoir former régulièrement les opérateurs sur des situations rares • Utiliser l'équipement pour des points de vue différents d'une même scène • Améliorer l'apprentissage par une expérience sensible, des apports spécifiques comme des animations • Donner la possibilité (ou non) de 	<ul style="list-style-type: none"> • La manipulation d'objets est moins aisée qu'en réel, même avec des accessoires spéciaux (réserver le maniement physique, simplifier certains mouvements délicats) • Certains effets sont problématiques : effets kinesthésiques et visuels (accélération, déplacement, stéréoscopie et effets sur l'oreille interne, distance d'accommodation entre l'écran

<ul style="list-style-type: none"> • revenir en arrière pour permettre à l'apprenant d'estimer les conséquences d'un choix (undo) et sélectionner un autre parcours • Ajouter des éléments (repères, aides...) en surimpression visuelle ou sonore • Apporter des modifications sur les retours d'effort pour orienter le comportement • Détecter les difficultés, les intentions des apprenants et prévoir une assistance contextuelle, une bifurcation dans le scénario (par ex. stigmatiser une erreur en orientant sur une conséquence peu probable mais grave) • Proposer un environnement attrayant, voire ludique (l'histoire dont l'apprenant est le héros) 	<ul style="list-style-type: none"> et la distance virtuelle...) pouvant provoquer chez certains individus le mal du simulateur ou <i>cybersickness</i> (nausées), des troubles de l'orientation (vertiges) et des troubles oculomoteurs (fatigue visuelle) • Il existe souvent un léger temps de latence entre le geste de préhension réel et l'image renvoyée par le système • L'absence de modèle cognitif des comportements des opérateurs lorsque les activités de ceux-ci ne peuvent être ramenées à des tâches simples et ordonnées, comme par exemple dans les tâches de résolution de problème où non seulement la solution n'apparaît pas de façon évidente, mais où aussi la méthode est incertaine
--	--

Table 1: Avantages et limites des dispositifs de formation en Réalité Virtuelle

Il n'y a pas de rupture franche entre les différentes technologies. Le développement des réseaux et d'Internet a par ailleurs facilité la mise en connexion de ces différents équipements. Un facteur essentiel consiste dans l'interactivité entre apprenant et dispositif de formation : l'apprentissage est d'autant meilleur qu'il permet à l'apprenant d'être autonome. Cette interactivité suppose que le dispositif technique réponde à diverses règles clés[19] : maîtrise totale des actions par l'utilisateur, manipulation directe intuitive, dialogue homme-machine naturel, consistance et affordance des objets de l'interface, réversibilité des actions, feed-back informatifs, traitement des erreurs. Plus récemment, les travaux sur l'inclusion en pédagogie ont amené des chercheurs à considérer l'autonomisation globale du couple apprenant - support de formation par le biais d'une coopération où l'un et l'autre combinent leurs capacités en termes de connaissances, de disponibilité et de possibilité d'agir [20].

C'est finalement plus la scénarisation des études de cas qui va distinguer l'apport pédagogique de ces outils que les équipements [1][2]. Ainsi, l'apprentissage par l'erreur est un atout considérable de ces outils : pour ce faire, le concepteur pédagogique met en œuvre la métaphore du « théâtre ». A partir des objectifs de la tâche, et des contraintes propres à la situation, il introduit dans le scénario toutes sortes de facteurs de production d'erreur issus notamment du REX : urgence, pression des collègues, des clients, ... pouvant inciter l'apprenant à oublier un élément, à ne pas tenir compte d'une condition ou d'un effet de bord, à faire un ancrage sur une stratégie inadaptée, etc.

En formation des adultes, les méthodes pédagogiques s'appliquent aux situations simulées tant avec que sans simulateur : jeux de rôle permettant d'endosser divers rôles laissant place à un certain degré d'improvisation dans les mises en situation (comme en exercice de gestion de crise), jeux dont beaucoup sont utilisés en formation en sécurité du travail pour leur caractère ludique, autoconfrontation simple et croisée des pratiques professionnelles, etc.

Le jeu de rôle est reconnu comme méthode d'apprentissage actif pour la formation aux CNT [12]. L'apprenant est au centre de son propre processus

d'apprentissage et le formateur peut jouer le rôle de « facilitateur » de l'apprentissage [5]. Pour les concevoir, il est nécessaire de se baser sur une formalisation des CNT.

C. Critériologie d'évaluation des dispositifs de formation en simulation et réalisation d'un benchmark

Ce travail bibliographique a permis de construire une critériologie utilisée pour le benchmark de systèmes de formation par la simulation. Cette critériologie comporte 3 dimensions : immersive, formative et économique couvrant 14 critères autorisant chacun une évaluation selon 6 modalités. Par exemple, la dimension immersive comporte les critères suivants : degré d'immersion sensorielle, degré de vraisemblance des problèmes, scénario, interactions humaines, appropriation-utilisabilité.

Le benchmark a permis de rencontrer 14 situations internes et externes de formation par la simulation, allant de jeux de rôles en vue de la détection de défauts sur des portes de train à des environnements complets de simulation à la navigation maritime commerciale en passant par des simulateurs de conduite de train ou de gestion de trafic ferroviaire. La Figure 4 donne un exemple de comparaison entre 3 dispositifs réalisés par un expert FOH de l'équipe projet. Le trait en orange représente « Ship-In-School » (ENSM), en gris « Profession ASCT » (SNCF) et en bleu « SimuRAT » (SNCF). L'échelle indique le degré de complétion pour chacun des critères (0 critère non répondu, 6 critère atteint).

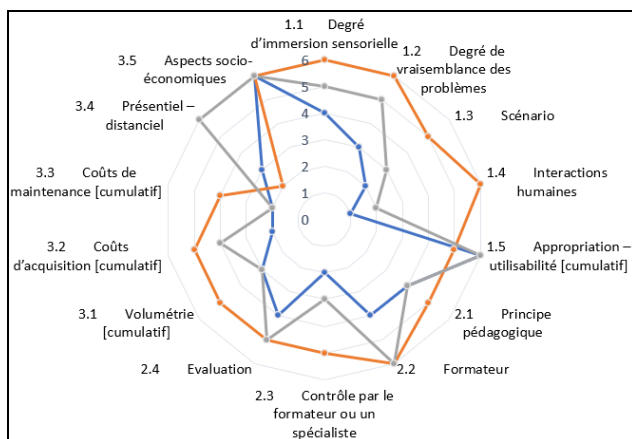


Figure 4: Comparaison entre 3 dispositifs de formation par simulation

La synthèse du benchmark apporte différentes leçons dont nous ne présenterons ici que quelques-unes relatives aux 2 premières dimensions :

- *Dimension immersive* : un environnement physique même rudimentaire suffit (par ex. une maquette physique) pour s'immerger dans une problématique que ce soit pour acquérir collectivement les bases du métier ou résoudre des problèmes très complexes ; les dispositifs s'appuyant sur des environnements numérisés complets favorisent l'apprentissage intermétiers mais supposent une unité de lieu et une cohérence des temps de formation ; la RV recouvre une notion allant d'avatars aux comportements limités à des personnages complètement pilotés par les apprenants, soit mono-acteurs, soit en interactions ; le degré de vraisemblance des problèmes à résoudre a une capacité plus immersive que la reproduction à

l'identique des environnements de référence, mais il est nécessaire de conserver les traits essentiels de la situation permettant l'estimation des paramètres de celle-ci et la prise de décision ; l'appropriabilité des dispositifs est essentielle, tant pour les apprenants que pour les formateurs.

- *Dimension formative* : la démarche pédagogique de simulation est généralement très orientée vers l'autonomie des apprenants, le travail de groupe, la découverte active, le rôle formatif de l'erreur ; la scénarisation intègre des études en situation nominale comme perturbée ou incidentelle (variation des paramètres de l'environnement, accidents, gestion de crise) ; certaines entreprises sont plutôt sur une logique procédurale de gestion des situations perturbées à la différence d'autres entreprises qui misent aussi sur des attitudes comme par ex. l'esprit de groupe ; il est possible d'introduire des perturbations au cours de l'étude de cas, soit en amont par programmation, soit au cours de la formation par le formateur ou l'instructeur ; le déroulé de la formation est généralement mixte, associant apports théoriques initiaux, passation en simulation avec briefing et débriefing, quizz, etc. Les supports sont généralement multimédias pour engendrer de la variété ; la tendance est d'aller de plus en plus vers des simulateurs d'entraînement plutôt que de certification.

Forts de ces divers constats et du contexte de déploiement, nous avons considéré la RV comme étant l'outil le plus intéressant pour atteindre les objectifs voulus par SNCF. Elle paraît bien répondre aux besoins de l'apprenant et aux attentes des formateurs pour l'apprentissage des CNT tout en garantissant les délais de réalisation pour un coût de production et de maintenance moindres par rapport à des simulateurs plus volumineux.

Des travaux récents dans le domaine de la santé [18] confortent l'utilisation de la simulation pour accroître le développement des CNT. Cependant, pour être attractif, un scénario pédagogique doit être le cœur du dispositif de formation pour lequel la RV est un outil pour le mettre en œuvre [14].

IV. ETAPES DE LA CONCEPTION D'UN SCENARIO ADAPTE A LA FORMATION PAR SIMULATION

La seconde phase de ce projet a été réalisée en 3 étapes : le choix du scénario, la conception du scénario décrivant en détail la série d'événements qui permettront à l'apprenant de mettre en œuvre les CNT requises dans les différentes séquences, la rédaction des scripts nécessaires à la conception informatique du simulateur.

A. Le choix d'un scénario mettant en œuvre les CNT

Le Comité de Pilotage Sécurité de SNCF a déterminé trois thèmes prioritaires pour lesquels des incidents liés à la mise en œuvre des CNT avaient été identifiés :

- Un scénario de gestion d'un choc/mouvement anormal ressenti par le conducteur d'un train circulant sur une voie ;

- Un scénario de prise en charge de personne à mobilité réduite en gare ;
- Un scénario de manœuvre de refoulement (recul d'un train).

Le délai ne permettant la réalisation que d'un seul prototype, le scénario "choc/mouvement anormal" a été retenu pour les raisons suivantes :

- Il s'agit d'une situation de travail en condition perturbée impliquant un inconfort pour les opérateurs ;
- Chacun des métiers impliqués (Circulation et Traction) a peu de connaissance des procédures techniques de l'autre et ne peuvent donc pas faire de bouclage ;
- Il n'y a pas de culture d'entreprise inter-métiers reliant les protagonistes de ce genre de situation.

Le scénario retenu sur le choc/mouvement anormal doit permettre, à la fois de :

- Renforcer les compétences techniques des opérateurs des différents métiers, tant en situation « normalement » dégradée que dans des contextes pouvant être déstabilisants et pousser à l'erreur ;
- Développer des CNT en :
 - Harmonisant les représentations de la situation (Domaine CNT « Conscience de la situation », cf. Figure 2) ;
 - S'assurant de l'intercompréhension dans les communications (Domaine CNT « Communication », cf. Figure 2) ;
 - Développant des pratiques de coopération des différents acteurs (Domaine CNT « Coopération », cf. Figure 2).

Une des préoccupations du groupe de travail était aussi d'avoir un dispositif pédagogique adapté aux contraintes de la formation. On peut notamment citer :

- Pouvoir faire jouer les métiers ensemble alors qu'ils ne sont physiquement pas présents au même endroit ;
- Pouvoir aussi les faire jouer ensemble dans un même lieu commun quand c'est nécessaire ;
- Pouvoir faire jouer chaque métier sans la présence obligatoire de l'autre.

Ainsi, d'un point de vue fonctionnel, le prototype cible doit permettre de former :

- Un AC et un ADC jouant ensemble ;
- Un Agent Circulation (AC) jouant seul avec un Agent De Conduite (ADC) simulé ;
- Un ADC jouant seul avec un AC simulé.

De manière opérationnelle, et en raison des contraintes temporelles importantes, c'est le scénario permettant de faire travailler AC et ADC ensemble qui a été développé. Les autres situations n'étant que des adaptations de celui-ci par la simulation d'un des métiers qui n'est pas joué.

B. La conception du scénario « choc/mouvement anormal »

Le scénario concerne un choc ou mouvement ressenti par le conducteur d'un train au cours de la conduite. Il peut provenir d'un défaut de voie (e.g. déformation, rail cassé, etc.), d'une anomalie sur le matériel roulant (e.g. défaut de suspension, perte d'une pièce, etc.) ou enfin d'un défaut de caténaire qui alimente la source en énergie électrique du train.

A la suite de la détection d'un indice anormal, le conducteur doit mettre en œuvre une procédure reprise dans le référentiel sécurité. Ensuite il avisera l'AC, qui a son tour appliquera une procédure sécurité en appliquant ses documents opérationnels. Le bon déroulement du scénario requiert le respect d'une procédure métier pour laquelle une bonne maîtrise des CNT, notamment en inter-métiers est nécessaire.

Pour concevoir le scénario, nous sommes partis d'une description fine et chronologique de la procédure à mettre en œuvre par chacun des acteurs (cf. Figure 5). Cette méthode a permis de construire un tableau exhaustif, expliquant pas à pas et dans le détail les CNT requises pour chaque geste métier déroulé au long de la procédure par les différents acteurs. Dans les procédures, ce sont principalement les CNT « Prise de décision », « Communication », « Coopération » et « Conscience de la situation » entre l'ADC et l'AC qui sont développées lors du traitement de la situation.

Contexte	ADC T1	AC	ADC T3	ADC T5
	Ressent un choc		Communication	
Choc anormal en aval du périmètre d'action de l'AC (c'est l'AC qui expédie les trains vers le point dangereux signalé)	signale à l'AC un choc anormal	Prend note selon la procédure prévue (carnet de dépêches, main courante..); Collationne les informations données par l'AdC (numéro du train, lieu, km, heure, conséquences, autres)	Communication	Communication
	Prise de décision			

Figure 5: Extrait de la description chronologique de la procédure « choc/mouvement anormal »

Nous avons ensuite construit le scénario selon la méthode d'ingénierie pédagogique décrite dans le chapitre III. La Figure 6 présente le scénario sous forme graphique. Il décrit en détail la série d'événements que va rencontrer l'apprenant et qui lui permettront de mobiliser ces CNT. Les événements seront transformés en événements simulés dans le simulateur.

1) Les techniques permettant d'orienter le scénario sur les CNT

Afin d'observer la mise en œuvre des CNT, il faut recréer les conditions environnementales réelles d'un incident. En ce sens durant le déroulé du scénario, nous appliquons ce que nous appelons des « inducteurs d'erreurs » (rond violet dans la Figure 6) [1][2]. Il s'agit de « petits grains de sable » non repris dans les procédures, que l'on recense lors des retours d'expériences des incidents ou des échanges avec les formateurs. Il existe différents types d'inducteurs comme : les ruptures de séquence, les pressions opérationnelles et

organisationnelles. Ce sont particulièrement à ces moments critiques que les comportements des individus dans la mise en œuvre des CNT doivent être observés. Cela permet également de renforcer le réalisme du scénario.

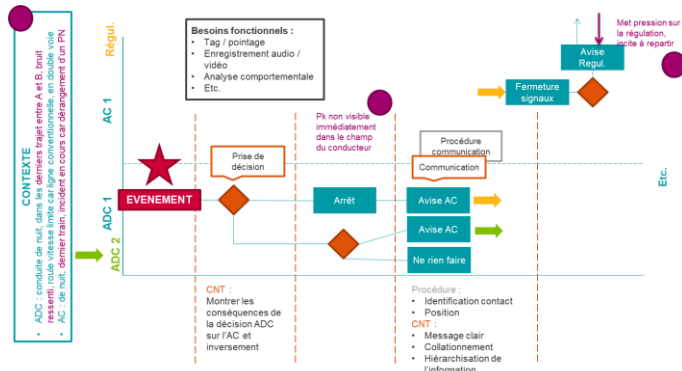


Figure 6: Extrait du scénario pédagogique « Choc/mouvement anormal » conçu

Dans ce scénario, on peut citer la réception d'appels radio insistants de la part d'un AC vers un ADC (ou vice-versa) qui peuvent déstabiliser ce dernier. Si ces appels radio sont justifiés en vue de résoudre un incident au plus vite, ils peuvent néanmoins constituer une rupture de séquence et une pression opérationnelle susceptible d'être vecteurs de stress pour un opérateur au point de l'amener à l'erreur. Les CNT mobilisées ou non pourra être observée puis discutées en session de formation. Le formateur pourra ainsi faire part de conseils et bonnes pratiques.

L'observation par le formateur de la CNT « Communication » a lieu durant un moment d'échange (par dépêche) lors de la réception d'un ordre pour autoriser l'ADC à descendre dans les voies pour y faire son diagnostic. Si cette séquence permet d'évaluer la compétence technique liée à la procédure, le formateur cherchera surtout ici à déterminer la mise en œuvre de la compétence Communication. Par exemple la réglementation prévoit un collationnement, c'est-à-dire une vérification croisée entre deux interlocuteurs. La routine de cette procédure a tendance à générer une lecture du texte sans l'avoir analysé/compris. L'introduction d'une erreur (inducteur erreur) entre le numéro du point kilométrique de l'incident dicté et les choix possibles permet d'évaluer si le récepteur est bien attentif au contenu transmis. La CNT « Gestion du doute » peut aussi être évaluée : le récepteur demande-t-il à répéter l'information ou choisit-il une information erronée ? Le formateur sera attentif également au fait de s'exprimer clairement, avec des phrases simples et sans ambiguïté. L'interaction avec la CNT sous-jacente « Coopération » est de nature à renforcer la bienveillance : un débit de parole approprié permettra une compréhension et retranscription écrite de la dépêche sans erreur.

C. La rédaction du script pour la RV

Les techniques actuelles de conception des environnements virtuels nécessitent tout d'abord l'écriture d'un script. Celui-ci reprend pas à pas pour chaque situation :

- Les choix d'actions possibles ;
- Leurs conséquences ;
- Les intentions pédagogiques, c'est-à-dire dans notre cas, les CNT mobilisées.

Chaque script est le reflet exhaustif du déroulé du jeu et renvoie systématiquement, pour chaque action exercée (comportement adéquat / inadéquat), à l'étape suivante vers laquelle l'apprenant est entraîné. Ce script est construit de manière itérative en associant les formalismes de description du scénario en comportements du dispositif de RV.

La démarche itérative d'allers-retours successifs entre l'équipe projet et le prestataire de développement nous a permis de valider la méthode de travail et assurer que le produit réalisé correspondait à nos attentes. A titre d'exemple, le recours par le prestataire à l'interruption du jeu au moindre écart sécurité se traduisait par l'obligation pour l'apprenant de recommencer le scénario de formation à chaque fois depuis le début. Ceci entraînait sa démotivation, ce qui a conduit l'équipe projet à demander que ces « *game-over* » n'apparaissent que pour des écarts sérieux.

Ce travail d'ingénierie pédagogique a permis de concevoir un scénario dans le but de renforcer les CNT. Un script a été réalisé pour faire vivre le scénario dans un environnement de formation virtuel. Cette phase a aussi permis de définir les besoins fonctionnels à intégrer mettre dans le cahier des charges pour la conception d'un simulateur inter-métiers en RV qui réponde vraiment aux besoins pédagogiques.

V. DESCRIPTION DU SIMULATEUR INTER-METIERS CONÇU

Les étapes précédentes ont permis d'aboutir à la réalisation d'un prototype de simulateur inter-métiers de formation aux CNT en RV. Le dispositif devait être terminé en quatre mois incluant la sélection du prestataire (environ 4 semaines). En plus des contraintes de planning, des contraintes techniques dues à l'utilisation de la RV ont nécessité quelques ajustements.

A. Aspects fonctionnels

La première version du dispositif conçu intègre le script dans lequel un AC et un ADC interagissent. Ainsi, le dispositif mobilise :

- Un apprenant qui joue le rôle de l'ADC. Il porte un casque de RV. Il est immergé dans un EV cabine de conduite et voie ;
- Un apprenant qui joue le rôle de l'AC. Il est doté d'un casque de RV. Il est immergé dans un poste d'aiguillage ;
- Un formateur qui supervise toute la session de formation. Il utilise un ordinateur portable lui permettant de visualiser l'avancement des deux apprenants en temps réel. Il peut également prendre des notes et taguer la vidéo pour y revenir par la suite en phase de débriefing.

Le développement du dispositif permet aux deux apprenants d'être physiquement à distance (par exemple dans deux villes différentes) et de se retrouver dans un même scénario. Chaque joueur voit son point de vue uniquement et peut échanger verbalement avec l'autre apprenant lorsque cela est nécessaire.

Le déroulement de la séquence de formation dans le simulateur ne dépasse pas 20 minutes pour éviter la cinétose. Il inclut un tutoriel permettant aux apprenants de prendre en

main le dispositif. Au début du déroulement du scénario, l'environnement est contextualisé afin de donner les repères nécessaires aux apprenants. A titre d'exemple, le jour, l'heure, la voie et le sens de circulation, le numéro du train, etc. sont donnés à l'ADC. Quant à l'AC, on lui décrit son secteur circulation, les voies qu'il gère, les trains engagés au moment de l'événement, etc.

Enfin pour permettre au formateur de réaliser un débriefing et activer les ressources pédagogiques de formation, les scénarios sont enregistrés et visualisables après coup. Les apprenants peuvent ainsi voir les actions réalisées par les deux métiers et prendre conscience des activités et besoins des autres.

B. Caractéristiques des Environnements Virtuels

A la suite du benchmark réalisé, il nous a paru extrêmement important que l'EV soit le plus réaliste possible et le plus proche de ce que les opérateurs peuvent rencontrer sur le terrain. Concrètement, les éléments techniques ou réglementaires doivent être indiscutables. Cette approche doit faciliter l'acceptabilité du scénario et ne pas susciter de rejet, compte tenu de l'effet de décalage entre réalité et nouvelles technologies : « oui mais de toute façon dans la réalité ce n'est pas comme ça ! ». Cela permet aussi aux apprenants et au formateur de ne se concentrer que sur les CNT et ne pas ouvrir un débat sur la partie technique qui entraverait l'atteinte des objectifs de la formation.

Notre choix s'est porté sur le secteur circulation du poste de Vaires-sur-Marne, qui gère un tronçon de la ligne de Paris Est à Meaux et sur un automoteur Transilien type Z50000 qui circule sur cette portion de voie (cf. Figure 7).



Figure 7: Les Environnements Virtuels de formation développés

Une fois le contexte mis en place nous avons dû réaliser des ajustements. En effet, même si nous avons pris soin d'être le plus proche possible de la réalité, la RV n'en est jamais le reflet complet. La *gamification* a été faite en conservant l'objectif de former aux CNT. Voici quelques exemples d'ajustements :

- Comment faire ressentir le choc/mouvement anormal ? Nous nous sommes posé cette question car

la détection par le conducteur de cet événement fait déjà appel à des CNT. Les choix technologiques à mettre en œuvre pour le faire étaient tels que nous avons rapidement pris le parti d'informer le participant qu'il venait de subir un choc anormal. Charge à lui cependant d'identifier le point kilométrique de l'incident (CNT « Conscience de la situation »).

- L'AC est un opérateur qui a besoin d'écrire régulièrement, or notre dispositif de RV n'était pas adapté à cela. Nous avons donc opté pour un choix à faire parmi une sélection d'actions possibles. Ceci revient au temps passé par l'AC à sélectionner et lire sa procédure en temps réel.
- Enfin, pour plus de réalisme, les dialogues enregistrés ont été travaillés pour être le plus proche possible de la réalité du terrain. Ainsi ils ne sont pas toujours consensuels.

C. Caractéristiques techniques

Le prototype est composé (Figure 8) :

- De deux casques Oculus Quest qui ont été retenus pour leur facilité d'usage. Ils fonctionnent sans fil et sont légers à porter au regard d'autres casques ;
- Un PC avec une carte graphique d'une puissance équivalente à ceux permettant de jouer aux jeux vidéo.

Le dispositif permet ainsi d'être transporté dans une valise.

Enfin, les EV (Figure 7) ont été conçus dans un but de réutilisation. Ainsi, ils pourraient être récupérés et modifiés pour développer d'autres scénarios de formations.



Figure 8 : Les éléments du dispositif conçu

VI. EVALUATION DU SIMULATEUR ET PREMIERS RETOURS D'EXPERIENCE

La mise en place d'un simulateur de formation nécessite une validation afin de garantir que le dispositif technique conçu aura des effets positifs pour l'apprenant et pour le formateur. Pour cela des tests utilisateurs ont été imaginés mais pas encore réalisés. Jusqu'ici seuls quelques premiers essais ont pu être réalisés.

A. Méthodologie d'évaluation

Le simulateur inter-métiers a pour but d'accompagner les formations dédiées aux CNT. A ce titre, il convient de l'évaluer en tant qu'outil technique, mais surtout de vérifier

sa valeur pédagogique et formative. L'évaluation devra être faite du point de vue des apprenants ainsi que du formateur.

Du point de vue technique, une évaluation experte et un test d'utilisabilité seront réalisés afin de valider la facilité d'usage du simulateur. L'adéquation entre le comportement attendu et le comportement effectif sera également observée lors des tests. Il s'agit de s'assurer que l'environnement proposé est réaliste au regard des postes de travail de conduite et de circulation.

Sur le plan pédagogique le test est quant à lui plus complexe à réaliser. A ce stade, il est prévu de vérifier que les éléments de la RV participent à l'appropriation et à la réussite de l'apprentissage [13]. Ainsi, le questionnaire d'expérience utilisateur de [9] sera soumis auprès des apprenants. Ce dernier se présente sous la forme d'une échelle de Likert et permettra notamment de mesurer des éléments tels que le sentiment de présence, l'engagement, l'immersion ou encore l'adoption de la technologie par l'utilisateur. Les résultats seront complétés par un questionnaire sur les cybermalaises [11]. Des entretiens seront réalisés avec les formateurs afin de vérifier que le simulateur possède des fonctionnalités qu'ils comprennent et qu'ils souhaitent utiliser et leurs apports réels au regard de leur stratégie pédagogique. Il conviendra également d'analyser les résultats en fonction du niveau d'expertise de l'apprenant (novice vs expert) et du type de formation (ex. : initiale ou continue). En formation initiale nous vérifierons par exemple que l'outil permet d'apporter de la connaissance à l'apprenant, tandis qu'en formation continue il devra notamment permettre de prendre conscience des erreurs réalisées.

Pour finir, la valeur formative apportée par l'outil sera jugée sur du plus long terme. En pratique, afin de vérifier le transfert des connaissances entre la formation en simulateur et la situation réelle, les retours d'expériences des managers de proximité et les analyses d'incidents et d'accidents de la DGS de SNCF seront utilisés comme sources de vérification.

B. Retours d'expérience

Des établissements pilotes ont été retenus pour tester le simulateur inter-métiers en situations réelles d'animation de sessions de formation aux CNT : des centres de formation plus spécifiquement orientés vers la formation initiale d'opérateurs novices ainsi que des établissements opérationnels permettant de valider sa pertinence dans la formation continue d'opérateurs experts. Ces séances de formation d'évaluation de l'outil, ce qui ne nous permet pas encore de bénéficier des retours d'expérience des participants ou formateurs. Néanmoins, certains managers de proximité ayant contribué à la validation du démonstrateur nous permettent d'ores et déjà de bénéficier de premiers retours.

Sur le plan technique, la transportabilité de l'outil ainsi que sa facilité de mise en œuvre ont particulièrement été appréciées des formateurs testeurs. Ces derniers ont notamment approuvé la possibilité de travailler en inter-métiers de manière synchrone sur deux sites distants, simplifiant les conditions logistiques d'organisation des séances de formation. A contrario, ils ont unanimement souligné l'importance de réaliser un débriefing commun avec les deux apprenants pour permettre d'échanger librement sur leurs pratiques ou les difficultés rencontrées dans la situation vécue. De même, le caractère instantanément immersif dans l'environnement de travail propre à chaque agent apporté par

la réalité virtuelle a été plébiscité, permettant de recréer fidèlement les facteurs organisationnels ou environnementaux propices à l'apprentissage des CNT. Ce côté réaliste de la situation simulée permet une observation à la première personne très appréciée de l'activité réelle de l'apprenant très appréciée, mais pourrait encore être améliorée par une interaction plus forte entre l'apprenant et son environnement. Par exemple en donnant la possibilité à l'AC d'utiliser réellement un stylo virtuel lui permettant de prendre naturellement ses propres notes. Enfin, la possibilité de revisualiser la vidéo du scénario joué (mode replay) est prisée et présente un véritable atout pour accompagner le débriefing réalisé avec les apprenants. Néanmoins, le temps d'encodage nécessaire pour générer la vidéo est jugé trop important (temps pratiquement identique à celui du scénario joué).

Du point de vue pédagogique, la pertinence d'intégrer les CNT dans des formations métiers plutôt que de construire une formation aux CNT indépendante des formations techniques a particulièrement été soulignée. La possibilité apportée par le simulateur inter-métiers de reproduire fidèlement l'activité quotidienne des opérateurs, sa capacité à mettre en lumière les difficultés auxquelles les agents peuvent être confrontés en appliquant des prescriptions organisationnelles en respect des normes métier sont des points également jugés importants. Les CNT et le développement de pratiques de coopération inter-métiers s'acquièrent au travers de comportements répétés et le simulateur inter-métiers est considéré comme un outil particulièrement adapté pour satisfaire cette condition. Les formateurs ont toutefois soulevé l'importance que l'animateur de la session de simulation possède bien les compétences techniques des deux métiers impliqués dans le scénario, ou soit épaulé par un second formateur complétant les compétences métier manquantes. Enfin, les sessions de formation regroupant généralement plusieurs agents, il a semblé pertinent d'envisager la possibilité que le formateur puisse interagir sur certains éléments du scénario pour intégrer des difficultés ou menaces différentes lors de ces sessions multi-apprenants. L'interface d'évaluation (permettant par exemple : le tagage des écarts), avec une mise en forme automatique adaptée aux outils de certification (e.g. la grille SAMI⁴) sont à étudier. La piste de co-conception avec des formateurs métier apparaît donc essentielle.

Le regard nouveau et externe au projet du simulateur inter-métiers apporté par ces managers de proximité a également permis d'entrevoir une nouvelle possibilité d'utilisation de cet outil. Son utilisation pourrait en effet permettre de mieux comprendre les facteurs d'influence des comportements lors de l'étude de situations nouvelles, et de ce fait apporter une aide précieuse lors de la rédaction de nouvelles prescriptions à l'usage des opérateurs de terrain.

VII. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Un prototype pour améliorer les interfaces en inter-métiers a été conçu sur la base de la RV avec l'objectif de valider l'utilité de ce type de dispositif pour la formation aux

⁴ SAMI pour : Satisfaisant, Acceptable, Moyen, Insuffisant

CNT plus particulièrement dans les situations nécessitant une collaboration entre les métiers.

L'expérience, toujours en cours, nous permet de dégager d'ores et déjà quelques lignes directrices :

- Les CNT ne peuvent être abordées indépendamment des compétences techniques. C'est en effet dans le cadre des gestes métiers, de l'application des procédures, qu'elles sont sollicitées et contextualisées;
- La simulation par RV, en renforçant l'immersion, impacte favorablement la vraisemblance des situations qui constitue un facteur clé de la formation aux CNT et de leur mise en œuvre.

Il a par ailleurs été mis à jour certaines spécificités liées à l'utilisation de la RV dans ce contexte :

- Elle permet de créer des univers permettant de reproduire des situations à risques et une immersion à faible coût ;
- Cependant, un travail préalable conséquent et chronophage d'écriture du scénario et d'adaptation à la RV est nécessaire. Il requiert une réflexion collective multi-métiers ;
- Enfin, certaines limitations techniques ont pu être identifiées, notamment pour les « gestes métiers » nécessitant beaucoup de détails et de formalisme. Des adaptations ont dû être proposées pour pallier ces manques, induisant parfois un manque de "naturel" pointé par les acteurs du terrain.

Ce premier prototype ayant été finalisé et livré, les travaux vont maintenant se poursuivre en 2020 par une phase de tests sur deux sites pilotes, permettant ainsi de valider le concept. Les conclusions permettront de réaliser une version 2 du scénario avec une perspective de déploiement plus large. Cette validation déclenchera également l'instruction d'autres scénarios jugés prioritaires par le Comité de Pilotage PRISME.

Enfin, parallèlement, des actions de recherche plus « amont » sont en émergence, tant sur la compréhension des mécanismes « cognitifs » des CNT que sur l'adaptation de l'outil RV aux besoins.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Christian Neveu, Marie Chanteloube et Claire Wine pour leur participation à l'équipe projet SNCF, les opérateurs du poste d'aiguillage de Vaires-sur-Marne pour leur aide à l'élaboration des environnements immersifs, ainsi que les managers de conducteurs des Etablissements traction TGV Sud-Est et Bourgogne Franche Comté pour leurs retours constructifs.

Ce prototype a été conçu dans un cadre contractuel avec la société Manzalab.

REFERENCES

- [1] Blatter, C. (2011). New training approaches at SNCF. *1st World Congress on Rail Training. Madrid. 6-8 April.*
- [2] Blatter, C., Venant, P. (2005). Profession ASCT : un dispositif de formation interactif pour l'acquisition des compétences professionnelles en situation. *Revue générale des chemins de fer, N° février, pp. 29-37.*
- [3] Brown, T. C., & Warren, A. M. (2009). Distal goal and proximal goal transfer of training interventions in an executive education program. *Human Resource Development Quarterly, 20, 265-284.*
- [4] Burkhardt, J. (2003). Réalité virtuelle et ergonomie : quelques apports réciproques. *Le travail humain, vol. 66(1), 65-91. doi:10.3917/th.661.0065.*
- [5] Coureau, S. (2018). Jeux et jeux de rôle en formation. *ESF Sciences humaines.*
- [6] Duvenci-Langa, S., Karsenty, L., Salome-Martin, M. (2013). La prise en compte des facteurs humains dans le développement des compétences en sécurité ferroviaire. *Proceedings of WCRT2013, Vienna, 24-26 April 2013.*
- [7] Flin, R., O'Connor, P., & Crichton, M. (2008). Safety at the sharp end: A guide to on-technical skills. *Surrey: Ashgate Publishing Ltd.*
- [8] Fuchs, F. (2018). Théorie de la réalité virtuelle : Les véritables usages. *Presses des Mines.*
- [9] Katy Tcha Tokey. (2018). Conception et évaluation de l'expérience utilisateur en environnement virtuel immersif. Informatique. *Ecole nationale supérieure d'arts et métiers - ENSAM, 2018. Français. NNT : 2018ENAM0012. tel-01771595*
- [10] Karsenty L., Duvenci-Langa, S. (2017). Développer des compétences non-techniques pour fiabiliser une activité : d'une formation à la conception d'un environnement capacitant, 52^{ème} Congrès International Société d'Ergonomie de Langue Française.
- [11] Kennedy, R.S., Lane, N.E., Berbaum, K.S., & Lilienthal, M.G. (1993). Simulator Sickness Questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *International Journal of Aviation Psychology, 3(3), 203-220*
- [12] Killen, R. (2006). Effective Teaching Strategies: Lessons from Research and Practice. *South Melbourne, Australia: Cengage Learning Australia.*
- [13] Lourdeaux, D. (2001). Réalité virtuelle et formation : conception d'environnements virtuels pédagogiques. *Interface homme-machine [cs.HC]. École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2001.*
- [14] Matthew J.W. T. (2017). Training and Assessing Non-Technical Skills: A Practical Guide. *CRC Press.* Naweed, A., Murphy, P. (2019). Exploring non-technical skills linked with inadvertent increases in safety-risk in rail network control: A preliminary scenario-based analysis. *WCRR 2019 Tokyo.*
- [15] Naweed, A. and Murphy, P. (2019). Exploring non-technical skills linked with inadvertent increases in safety-risk in rail network control: A preliminary scenario-based analysis. *RSSB*
- [16] Operations and Management Research Programme. (2010). Non-technical skills required in the train driver: skills, behavioural markers and guidance notes. *RSSB.*
- [17] Référentiel Interne d'Appui. (2019). Les Compétences Non Techniques en Sécurité. *SNCF.*
- [18] Shapiro, M. J., Morey, J. C., Small, S. D., Langford, V., Kaylor, C. J., Jagminas, L., Suner, S., Salisbury, M. L., Simon, R., & Jay, G. D. (2004). Simulation based teamwork training for emergency department staff: does it improve clinical team performance when added to an existing didactic teamwork curriculum?. *Quality & safety in health care, 13(6), 417-421. https://doi.org/10.1136/qhc.13.6.417*
- [19] Shneiderman, B., & Plaisant, C. (2010). Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction. *Pearson Education India.*
- [20] Vanderhaegen, F. (2016). Toward a petri net-based model to control conflicts of autonomy between cyber-physical & human-systems. *IFAC-PapersOnLine, 49(32), 36-41.*