

PROJET e-DEFFINUM

Synthèse de l'expérimentation d'un recueil de données en XR pour la scénarisation de formations en Réalité Virtuelle Immersive.

Auteurs Federico Tajariol, Ludovic MESSINGER, ELLIADD, Université Marie et Louis Pasteur
Catherine MOUGIN, 3E Innovation - Université Paris Nanterre

E-mails des auteurs : ludovic.messinger@univ-fcomte.fr federico.tajariol@univ-fcomte.fr,
c.mougin@3e-innovation.com

Licence :

Synthèse de l'expérimentation d'un recueil de données en XR pour la scénarisation de formations en Réalité Virtuelle Immersive. 2025 par ELLIADD – Université Marie et Louis Pasteur : Federico Tajariol, Ludovic MESSINGER, et 3E Innovation : Catherine MOUGIN, est sous licence [CC BY ND NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nd-nc/4.0/) 

https://cc.3e-innovation.com/synthese_recueil_donnees_xr_e-deffinum

Vous devez créditer l'œuvre, intégrer un lien vers l'œuvre, intégrer un lien vers la licence et indiquer si des modifications ont été effectuées à l'œuvre.

Table de matière

1. Introduction.....	3
2. État de l'art.....	3
2.1. Technologie Immersive.....	3
2.2. Scénarisation pédagogique.....	4
2.3. Les méthodes et les outils pour la scénarisation pédagogique.....	4
3. La scénarisation des capsules RVI e-deffinum.....	6
3.1. Contexte.....	6
3.2. Présentation du template scénario.....	6
4. Problématique.....	15
4.1. Méthode.....	15
4.2. Participants, lieu et période.....	15
4.3. Chronologie du travail avec les formateurs.....	16
5. Développement d'un démonstrateur expérimental.....	17
5.1. Matériel.....	17
5.2. Fonctionnalités par rôle.....	19
5.3. L'annotation en détails.....	21
5.4. Données recueillies.....	21
5.5. Technologies utilisées pour le démonstrateur.....	21
5.6. Communication entre la plateforme web et l'application XR.....	22
6. Procédure expérimentale.....	23
6.1. Déroulé de la phase 5.....	24
6.2. Prise en main de l'application XR.....	24
6.3. Utilisation de l'application XR.....	25
7. Analyse des données et résultats.....	26
7.1. Limites de l'étude.....	26
8. Rédaction des scénarios à la suite du recueil de données.....	27
9. Conclusion.....	29
10. Crédits illustrations.....	29
11. Bibliographie.....	31

1. Introduction

Ce rapport présente le travail réalisé sur la scénarisation de formation en Réalité Virtuelle Immersive (RVI). Le domaine scientifique principal est celui des Environnements Immersifs pour l'Apprentissage Humain (EIAH). Ce travail s'inscrit dans un projet de recherche, MESPEVAH, qui vise à instrumentaliser l'activité de scénarisation pédagogique avec les technologies immersives (TI) comme la réalité augmentée, virtuelle ou mixte). Dans les pages suivantes, nous résumons les travaux sur la scénarisation pédagogique et nous décrivons notre étude exploratoire.

La structure du rapport est la suivante :

- Une synthèse sur l'état de l'art
- Le détail de la méthode
- Le déroulé de la procédure expérimentale
- L'analyse des données et les premiers résultats

2. État de l'art

2.1. Technologie Immersive

La caractérisation des TI exige de préciser la notion d'immersivité, qui est un concept complexe. La littérature propose différentes définitions que nous pouvons synthétiser ainsi : le ressenti d'un utilisateur face à une expérience sensorielle construite par des technologies selon un continuum, variant selon la capacité du matériel technologique et du contenu à générer une sensation de présence et engagement, par le truchement de l'interactivité et la multi-sensorialité (Biocca & Delaney, 1995 ; Bowman, Kruijff, LaViola & Poupyrev, 2005 ; Lombard & Ditton, 1997 ; Sheridan, 1992 ; Slater & Wilbur, 1997 ; Witmer & Singer, 1998). Ainsi l'immersivité s'appuie sur quatre dimensions principales :

- La présence, qui désigne le sentiment d'être physiquement ou mentalement "dans" un environnement autre que celui dans lequel l'utilisateur se trouve réellement.
- L'interactivité, qui renforce l'immersivité lorsque l'utilisateur interagit avec l'environnement de manière naturelle et fluide en manipulant des objets ;
- La multi-sensorialité : à l'augmentation du nombre de sens stimulés (vision, audition, touchée), le sentiment de présence ressenti par l'utilisateur augmente ;
- L'engagement cognitif : un environnement immersif ne se limite pas à présenter des stimuli sensoriels, mais doit également engager l'utilisateur dans des tâches qui ont du sens par rapport à son objectif.

Les TI se distinguent en fonction de leur degré d'immersivité, allant de faible pour la technologie à 360° jusqu'au degré fort pour la réalité virtuelle immersive.

Pour exploiter au mieux les TI, les formateurs et les concepteurs pédagogiques doivent connaître les avantages et les limites des TI afin d'insérer les activités pédagogiques dans un scénario d'apprentissage et choisir les indicateurs pertinents pour établir si une compétence est mobilisée ou pas (Jetter et al., 2018 ; Radianti et al., 2020). Par exemple, les résultats d'études expérimentales montrent que le sentiment de présence influence positivement les performances dans des tâches de mémorisation (Makowsky et al., 2017) et de compréhension (Buttussi et Chittaro, 2017).

2.2. Scénarisation pédagogique

La scénarisation pédagogique ne consiste pas seulement à planifier les activités que l'on souhaite proposer à l'apprenant (Paquette, 2007) mais intègre aussi « *l'utilisateur visé, les expériences d'apprentissage et les technologies d'apprentissage dans un format en langage naturel.* » [Notre traduction] (Fowler, 2015 : 420).

Les travaux pionniers conduits dans le cadre du projet FORMID (Guéraud et al., 2004) ont formalisé le modèle de scénario selon 4 dimensions : la situation initiale et l'objectif à atteindre, les étapes de résolution, les situations à observer et la réactivité permettant d'assister l'apprenant.

Chaque théorie d'apprentissage façonne différemment la notion de scénario pédagogique. À titre d'exemple, dans un scénario pédagogique d'inspiration cognitiviste les activités pourraient intégrer un tuteur intelligent (Woolf, 2009) qui propose à l'apprenant des activités et des ressources adaptées à sa progression et le soutien par des stratégies discursives adaptées. En revanche, une approche constructiviste proposerait à l'apprenant des situations d'apprentissages proches du réel (Carpentier, 2015) ou d'encourager l'autonomie et les prises d'initiatives des apprenants dans la création d'environnements d'apprentissages (Luengo et al., 2004). Et dans un scénario inspiré des théories de l'énaction, l'apprenant pourrait être immergé dans des environnements virtuels *affordants* (Stoffregen et al., 2006) qui ancrent l'activité cognitive dans l'activité corporelle, qui considèrent que la cognition et le corps sont interdépendants et s'influencent l'un l'autre (Shapiro, 2017), tout en assurant l'interaction avec l'environnement comme si l'apprenant se trouvait en situation réelle (De Looer et Tisseau, 2011).

2.3. Les méthodes et les outils pour la scénarisation pédagogique

Les travaux sur les environnements virtuels pour l'apprentissage humain ont proposé plusieurs méthodes de conception associées à des outils informatisés pour permettre aux experts-métiers de créer des scénarios pédagogiques à insérer dans des formations immersives.

La méthode par graphes multilinéaires permet de créer de multiples chemins d'interaction. Ces graphes sont particulièrement adaptés aux environnements où la liberté d'action de l'utilisateur est cruciale. Ils permettent de naviguer entre plusieurs chemins narratifs, en fonction des décisions prises par l'utilisateur.

La méthode de scénarisation centrée sur le scénario consiste à décrire des événements à venir selon un script, ce qui limite la liberté de choix entre les différents chemins narratifs. À l'inverse, les approches centrées sur les personnages accordent davantage de liberté aux entités virtuelles et aux utilisateurs, en leur permettant d'agir de manière autonome. Le scénario émerge alors des interactions entre les personnages virtuels et l'utilisateur, créant des expériences uniques pour chaque session.

La suite logicielle HUMANS (Lanquepin & al., 2013) a été développée pour proposer des modèles de scénarios génériques et réutilisables. L'outil permet de gérer en temps réel les personnages insérés dans l'environnement virtuel, le déroulement des activités et le suivi de l'apprenant (échec et réussite). Les connaissances et compétences à apprendre dans les scénarios sont formalisées selon des modèles de représentation de connaissances. Cette approche est très intéressante dans la mesure où elle peut permettre de soutenir une conception basée sur la présence et l'agentivité, en offrant des réelles possibilités d'interactions à l'utilisateur de l'EVAH. En revanche, sans avoir des compétences dans le

domaine des représentations des connaissances, il n'est pas exploitable sur le plan pédagogique.

La solution proposée par le projet EAST (Taoum et al., 2015) vise la création de scénarii pédagogiques dissociées de l'environnement immersif, afin de permettre aux formateurs de réutiliser et d'adapter les environnements créés. La méthodologie EAST s'articule en trois niveaux (intentionnel, stratégique, interactionnel) qui demandent aux concepteurs de scénario de maîtriser l'UML pour décrire à la fois les objets (diagrammes de classes), les comportements (diagrammes de machine à états) et les interactions (diagrammes d'activité). Des travaux récents ont abouti à la création d'un outil pour faciliter la scénarisation pédagogique et la mise en œuvre du scénario dans l'environnement immersif (Oubahssi et al., 2024 ; Mahdi, 2021). L'idée de VR-PEAS est d'accompagner un expert-métier dans la conception d'un scénario pédagogique. Cependant, VR-PEAS exige que le concepteur pédagogique ait des compétences en formalisation informatique au regard du concept de « classe d'objets ».

En conclusion, les méthodes et les outils proposés dans la littérature nécessitent soit des compétences avancées en ingénierie pédagogiques, soit des compétences avancées en informatique. Il semblerait qu'aucune méthode existante permette à des formateurs non-experts dans ces domaines de produire et formaliser un scénario pédagogique pour les technologies immersives.

3. La scénarisation des capsules RVI e-deffinum

3.1. Contexte

Dans le cadre du projet e-deffinum, la scénarisation des capsules VR a été confiée à six académies différentes, impliquant des DRAFPIC (Délégation Régionale Académique de la Formation Professionnelle, Initiale et Continue) et des CAFOC (Centre Académique de Formation Continue).

Afin d'uniformiser la scénarisation des capsules VR confiées à différents acteurs, un template de scénario été mis à disposition.

Le template a pour objectif de répondre aux besoins des différents acteurs du projet, ainsi il intègre le découpage pédagogique, le détails des actions avec la possibilité d'intégrer des médias pour les infographistes.


3.2. Présentation du template scénario

Le document de présentation de l'ingénierie pédagogique a été élaboré par l'équipe de 3E Innovation, soit par Catherine MOUGIN, ingénieure pédagogique, chercheuse en sciences de l'Éducation et de la Formation à l'Université Paris Nanterre et Ludovic MESSINGER, ingénieur multimédia et informatique et doctorant en Sciences de l'Information et la Communication à l'Université Marie et Louis Pasteur.

Ce template est découpé en huit onglets :

- L'onglet **Cadrage** permet de renseigner le contexte dans lequel s'inscrit la capsule.
- L'onglet **Arbre pédagogique** permet de lister et hiérarchiser les objectifs du module.
- L'onglet **Présentation du scénario** permet de renseigner les informations qui seront affichées à l'apprenant avant qu'il démarre le module.
- L'onglet **Positionnement** permet de renseigner les questions de positionnement qui seront posées en amont et en aval de la capsule.
- L'onglet **Script** permet de renseigner le déroulé du scénario.
- L'onglet **Données** permet de d'alimenter l'onglet script en données pour garder une cohérence, notamment proposant les types de questions et les différents acteurs du scénario.
- L'onglet **Ressources-mémo** permet de lister des ressources utiles.
- L'onglet **Révision** permet de renseigner l'évolution du document.

Onglet Cadrage :

	A	B	C	D
1	Présentation du contexte du scénario			Exemples
	Cette page présente les informations permettant de comprendre le contexte dans lequel s'inscrit le module			
2	Parties prenantes : partenaires étape 1 (Analyse) et 2 (Design)	<i>Titre du diplôme ou domaine</i>		
3				Diplôme Bac professionnel MELEC : Métiers de l'électricité et de ses environnements connectés
4				
5				
6	Compétence concernée	<i>Nom de la compétence</i>		Travailler en sécurité avec l'hydrogène (C14)
7				
8	Public cible	<i>Définir le public qui suivra ce parcours-compétence.</i>		Formation initiale et continue
9				
10	Contexte général de la formation	<i>Dans quel contexte d'apprentissage le parcours-compétence est-il mobilisé ? (niveau d'étude, environnement d'apprentissage, besoins, finalité).</i>		Niveau BAC
11				
12	Titre de la formation	<i>Nom du diplôme ou certificat</i>		Diplôme Bac professionnel MELEC
13				
14	Connaissances et compétences à acquérir dans ce module	<i>Connaissances et compétences visées par le parcours de formation.</i>		<ul style="list-style-type: none"> - Appréhender la chimie de l'hydrogène et de ses propriétés physiques - Identifier des risques associés à la manipulation, au stockage et à l'utilisation de l'hydrogène - Appréhender des procédures de sécurité, des règles
15				
16	Modalités d'apprentissage / de transmission du module	<i>Indiquer les modalités définies pour la situation d'apprentissage (conditions de consultation des ressources, tutorat et interactions avec les pairs envisagés).</i>		Réalité Virtuelle autonome. Réalité Virtuelle avec retour sur expérience.
17				
18	Séquençage	<i>Préciser les activités en amont, dans le module et post module</i>	Sur la plateforme de formation : Positionnement Page de présentation du module Dans le casque ou en mode web : Choix du mode : tuteuré, entraînement, évaluation Missions dans le mode défini Sur la plateforme de formation : Visualisation de la progression	
19				
20	Mobilisation des outils / technologies	<i>Indiquer les outils et technologies utilisées pour la consultation du module.</i>	Casque de réalité virtuelle type Oculus 2 et navigateur web sur MAC/PC	Casque de réalité virtuelle type Oculus 2 et navigateur web sur MAC/PC
21				
22	Stratégie d'évaluation	<i>Le parcours-compétence est-il diplômant ou certifiant ? A quelle étape les évaluations sont-elles diagnostiques, formatives, sommatives ?</i>		Participe d'une action de formation diplômante. Évaluations diagnostiques : Positionnement Évaluations formatives : pour chaque Étape Pas d'évaluations sommatives.
23				

Onglet Arbre pédagogique :

Arbre d'objectifs			Exemple		
Cet arbre permet de lister et hiérarchiser les objectifs du module					
Objectif principale (Module)	Objectifs secondaire (séquence)	Objectif opérationnel (activité)	Objectif spécifique (Module)	Objectifs secondaire (séquence)	Objectif opérationnel (activité)
	1	1.1	Travailler en sécurité avec l'Hydrogène (=Module 4.1 Habilitation ATEX Pour ATmosphère EXplosive)	1 Maitriser les généralités sur les atmosphères explosives	1.1 Définir ce que sont les atmosphères explosives (ATEX)
		1.2			1.2 Découvrir le fonctionnement des ATEX (qu'est ce qui fait que cela explose)
		1.3			1.3 Identifier les sources d'atmosphères explosives
	2	2.1		2 Définir des zones ATEX	2.1 Appliquer la méthodologie de zonage ATEX
		2.2			2.2 Prendre en compte les paramètres influençant le zonage
		2.3			2.3 Valider et mettre à jour un zonage ATEX en fonction des modifications d'installation
	3	3.1			
		3.2			
		3.3			
	4	4.1			
		4.2			
		4.3			

Onglet Présentation du scénario :

	A	B	C
1	Présentation du scénario		
	Cette page présente les informations qui seront affichées à l'apprenant avant qu'il démarre le module.		
2			Exemple
3	Nom du scénario pédagogique:	Titre assez court	Agir face à l'imprévu
4			
5	Durée estimée :	en minutes	20 minutes
6			
7	Objectif pédagogique du module :	Reprendre l'objectif principal indiqué dans l'arbre pédagogique	<i>Au terme de ce module vous serez capable d'agir face à un imprévu dans</i>
8			
9	Résumé :	Résumé de ce que l'apprenant sera amené à faire dans ce module	<i>Vous effectuez une réparation sur un équipement électrique dans une usine qui utilise de l'hydrogène et un problème sur la partie hydrogène intervient. Vous allez apprendre à réagir face à cette situation, notamment en prévenant les responsables et en vous mettant en sécurité.</i>
10			
11	Séquençage du module	<i>Préciser la progression en séquences</i>	<i>Introduction</i>
12			<i>Missions</i>
13			<i>Évaluation</i>
14			<i>Conclusion</i>
15			
16			
17			
18			

Onglet Positionnement :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Questions positionnement Cette page présente les informations qui seront affichées à l'apprenant avant qu'il démarre le module.									
2	Ajouté une * devant les bonnes réponses									
3	Type de questio	Enoncé	réponse 1	réponse 2	réponse 3	réponse 4	réponse 5	réponse 6	feedback bonne réponse	feedback mauvaise réponse
4	QCM	Quelle est la définition correcte d'une atmosphère explosive (ATEX) selon la réglementation ?	*Un mélange d'air et de substances inflammables dans lequel, après inflammation, la combustion se propage à l'ensemble du mélange non brûlé	Une zone où la température dépasse 100°C en permanence	Un espace confiné où l'oxygène est absent.	Un local équipé de systèmes de détection de fumée.			Bien joué ! Une ATEX est définie par la présence d'un mélange air/substance inflammable dans des conditions où une inflammation peut provoquer une explosion (directive 2014/34/UE).	Dommmage ! Une ATEX est définie par la présence d'un mélange air/substance inflammable dans des conditions où une inflammation peut provoquer une explosion (directive 2014/34/UE).

Onglet Script :

	A	B	C	D	E	29	Séquence	Sous-séquence	étape	Acteur	Description de l'actions <i>Décrite l'action qui doit être faite, le texte prononcé par un personnage ou des actions "systèmes"</i>	Interactivité	Résultat attendu <i>Suite à une action de l'utilisateur</i>	Dialogues	Commentaires / informations <i>Toutes précisions utiles aux "développeurs"</i>		
1	Titre du scénario : Titre assez court					30	Travailler en sécurité		1			Travailler en sécurité				Objectif : [application] choisir les EPI adaptés	
2	Identifiant du scénario :					31		Briefing	1.1			Briefing					
3									1.1.1	Avatar Robot	Fait le briefing de la mission					Dans cette mission, il y a un problème sur l'équipement X, le câble a été sectionné et vous devez le remplacer. Vous allez apprendre à : travailler en sécurité dans un environnement utilisant de l'hydrogène. xxxx	
4	État initial de la scène <i>Indiquer l'état initial des différents équipements</i>					32											
5	Nom de l'équipement état					33		Identifier les risques liés à l'hydrogène	1.2			Identifier les risques liés à l'hydrogène					
6	électrolyseur en fonctionnement normal					34			1.2.1	Responsable de la sécurité	Explique les risques liés à un environnement ou l'hydrogène est utilisé					Lorsque l'on travaille dans un environnement ou l'hydrogène est utilisé, il existe plusieurs risques...	
7	l'équipement 2 arrêté					35			1.2.2								
8						36		Sélectionner les EPI	1.3			Sélectionner les EPI					
9	Briefing de la mission <i>Rédigez le briefing comme il doit être prononcé en VR par l'avatar robot</i>								1.3.1	Responsable de la sécurité	Donne les consignes pour les EPI					"Nous allons nous équiper avec les équipements individuels de protection, EPI avant d'entrer dans la zone de production. Voici un casque et des chaussures pour vous protéger contre les chutes d'objets lourds. Les gants vous permettront de vous protéger contre xxx. Le masque de type XXX protégera vos voies respiratoires contre xxx. Je vous laisse enfiler ces EPI"	
10	Dans cette mission, il y a un problème sur l'équipement X, le câble a été sectionné et vous devez le remplacer. Vous allez apprendre à : travailler en sécurité dans un environnement utilisant de l'hydrogène. xxxx Cliquez sur démarrage quand vous êtes prêt.					37			1.3.2	Voix Off	Indique comment interagir						Afin d'enfiler vos EPI, cliquez sur la porte de l'armoire pour l'ouvrir et sélectionnez les EPI avec lesquels vous allez vous équiper. Une fois que vous avez sélectionné un EPI, celui-ci s'ajoute dans votre inventaire. Vous pouvez accéder à votre inventaire en cliquant sur l'icône inventaire dans la fiche présente sur votre poignet gauche. Lorsque vous avez terminé de vous équiper, cliquez sur "J'ai mis mes EPI".
11						38			1.3.3	Apprenant	Sélectionne ces EPI dans l'armoire	Survol des EPI, les mets en évidence (changement d'aspect ou contour) Clique sur EPI dans l'armoire	L'EPI est ajouté dans l'inventaire. Déclenche la validation des				Une armoire avec les EPI présents à l'intérieur Un bouton "J'ai mis mes EPI" permet à l'apprenant de valider que les EPI sont mis.
12	Évaluation <i>Comment se fait l'évaluation de cette mission</i>					39			1.3.4	Apprenant	Clique sur le bouton "J'ai mis mes EPI"						
13	Exemple : faire la mission sans être guidé					40			1.3.5	SYSTEME	Si tous les EPI n'ont pas été sélectionnés						
14						41			1.3.6	Responsable de la sécurité	Indique un message d'avertissement						
15	Briefing de l'évaluation <i>Rédigez le briefing comme il doit être prononcé en VR</i>					42			1.3.7	SYSTEME	Aller à 1.3.3						
16	Dans cette mission, il y a un problème sur l'équipement X, le câble a été sectionné et vous devez le remplacer. Vous allez apprendre à travailler en sécurité dans un environnement utilisant de l'hydrogène. xxxx Pour réussir cette mission vous devez xxxx.					43			1.3.8	SYSTEME	FIN SI						
17						44			1.3.9	Responsable de la sécurité	Valide que l'apprenant a sélectionné les équipements						
18	Règles de l'évaluation					45											
19	A chaque aide utilisée, l'apprenant perd 2 points					46		Découvrir les équipements	2 NA			Découvrir les équipements				Objectif : [connaissance] reconnaître les équipements présents sur un site hydrogène	
20	A chaque erreur, l'apprenant perd 5 points					47			2.1	Responsable de la sécurité	Présente chacun des équipements					Sur votre droite nous avons l'électrolyseur qui sert à produire de l'hydrogène. Il xxx	
21	A chaque bonne action, l'apprenant gagne 10 points																
22	A la fin le score est pondéré avec le temps passé pour réaliser la mission. Entre -20 et +20% par rapport au temps moyen.																
23																	
24	Game design spécifique à ce scénario																
25	RAS																
26																	
27	Scénario de la mission																

Onglet Données :

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Liste des données							
2	Cet onglet permet d'alimenter l'onglet script en données pour garder une cohérence							
3	Acteurs	Description		Type de questior	Description			
4	NA	Non applicable		QCM	Question choix multiples (1 seule bonne réponse)			
5	SYSTEME			QRM	Question réponses multiples (plusieurs bonne réponses possibles)14			
6	Apprenant							
7	Responsable de la sécurité							
8	Avatar Robot							

Onglet Ressources :

	A	B	C	D
	Ressources			
1	Cette page permet de liste les ressources utiles.			
2				
3	https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A8glementation_ATEX			
4	https://www.inrs.fr/risques/explosion/zonage-marquage-materiel-atex.html			
5				
6				

Onglet Révision :

	A	B	C	D
1	Évolution des versions			
2	Cette page présente les informations qui seront affichées à l'apprenant avant qu'il démarre le module.			
3	Version	Date	Auteur	Commentaire
4	C	26/03/2023	LM	modification suite à relecture
5	B	12/02/2023	CM	modification de l'arbre pédagogique
6	A	06/02/2023	LM	Version initiale
7				

4. Problématique

Le projet MESPEVAH vise à proposer une méthodologie associée à des outils pour faciliter la scénarisation des formations immersives en RV aux formateurs ou aux concepteurs pédagogiques qui ne possèdent pas de compétences en informatiques. Au regard de la littérature, cette méthode apparaît comme un besoin.

Afin de mieux cerner les besoins et les attentes des formateurs, nous avons mis en place une étude exploratoire d'observation sur l'activité de scénarisation.

D'après notre perspective de recherche, la scénarisation intervient après la phase de définition des objectifs pédagogiques et de recueil des données et ressources pédagogiques. Pour les formations techniques (gestes opératoires, procédures, etc.), la phase de recueil des données auprès des formateurs ou des experts métiers permet de fournir la matière première au concepteur pédagogique.

L'enregistrement vidéo des formateurs ou des experts métiers pour recueillir des données est largement recommandé pour la conception pédagogique et le développement de formations techniques. Ces captations vidéo peuvent ensuite être enrichies d'annotations pour apporter des précisions.

Cette pratique permet de recueillir des informations précises, détaillées qui pourront ensuite être analysées pour concevoir la formation.

Dans le cadre de formations immersives en RV, les infographistes 3D ont besoin de visualiser l'environnement réel. Ceci leur permet de modéliser l'environnement en 3D. Ils ont également besoin de connaître les éléments avec lesquels il faut interagir pour les modéliser, ou les animer de manière plus fidèle. Les développeurs ont besoin de comprendre comment l'apprenant va interagir avec l'environnement pour mettre en place les interactions.

Actuellement les scénarios créés ne proposent pas toujours des illustrations satisfaisantes de l'environnement, et la manière d'interagir y est souvent décrite, mais pas visualisable.

D'autre part, lorsque le scénario est documenté visuellement avec des photos, il peut manquer de précision, notamment car la partie concernée sur la photo n'est pas explicitement mise en avant, ceci nécessite donc des allers retours entre les acteurs du projet.

4.1. Méthode

Les avancées technologiques des casques de réalité mixte comme l'amélioration de la qualité d'affichage, et l'intégration de nouveaux périphériques d'interactions comme le stylet Logitech MX Ink offrent de nouvelles opportunités dans le processus de recueil des données pour scénariser des formations immersives.

De ces constats est née l'idée d'enregistrer le geste technique à travers le regard du formateur lors de l'exécution des tâches avec la possibilité d'annoter directement l'environnement de travail.

4.2. Participants, lieu et période

Dans le cadre du projet e-DEFFINUM, l'académie de Strasbourg, a mis à disposition deux formateurs du Bac Pro TRPM (Technicien en Réalisation de Produits Mécaniques) au lycée Blaise Pascal de Colmar pour une période allant de septembre 2023 à décembre 2025.

La scénarisation s'est portée sur deux capsules de formation RVI (Réalité Virtuelle Immersive) ayant pour thème la préparation de l'usinage sur un tour à commande numérique et le positionnement de l'origine programme (POP) sur une fraiseuse à commande numérique.

L'expérimentation a donc eu lieu dans l'atelier dédié à la formation Bac Pro TRPM. Cet atelier comprend plusieurs machines telles que des tours, des fraiseuses et un banc de mesure.

4.3. Chronologie du travail avec les formateurs

4.3.1. Phase entretien d'explicitation sur la formation TRPM

- Entretien d'explication avec les formateurs
Date : 02 février 2024
Durée : une demi-journée
- Entretien sur la scénarisation avec les formateurs
Date : 16 février 2024
Durée : une demi-journée
- Entretien sur l'utilisation du template pour scénariser
Date : 27 mars 2024
Durée : une demi-journée

4.3.2. Phase entretien d'explicitation sur les sujets des deux scénarios VR choisi

- Entretien d'explication avec les formateurs
Date : 21 avril 2025
Durée : une demi-journée

4.3.3. Phase expérimentation XR :

- Expérimentation sur le scénario de préparation de l'usinage et mesure avec le premier formateur.
Revue sur le découpage du scénario avec le formateur puis recueil de données XR.
Expérimentation XR pour le recueil de données avec le premier formateur.
Date : 21 mai 2025
Durée : une demi-journée
- Expérimentation sur le scénario Prise Origine Programme avec le premier formateur.
Revue sur le découpage du scénario avec le formateur puis recueil de données XR.
Date : 04 juin 2025
Durée : une demi-journée
- Expérimentation avec le second formateur sur le scénario de préparation de l'usinage et mesure.
Revue sur le découpage du scénario avec le formateur puis recueil de données XR.
Date : 19 juin 2025
Durée : une demi-journée
- Expérimentation avec le second formateur sur le scénario Prise Origine Programme.
Revue sur le découpage du scénario avec le formateur puis recueil de données XR.
Date : 19 juin 2025
Durée : une demi-journée

5. Développement d'un démonstrateur expérimental

Afin de répondre à la problématique nous avons développé un prototype comprenant une plateforme web et une application XR. La plateforme web permet de créer le découpage de mission en activités et tâches. Ce découpage est ensuite intégré dans l'application XR pour qu'il puisse être visualisé pendant la phase de captation et d'annotation. Finalement le découpage enrichi des médias est réintégré dans la plateforme pour centraliser le recueil de données.

5.1. Matériel

Pour enregistrer le geste technique en situation de travail et l'annoter, nous avons fait le choix d'utiliser un casque Meta Quest 3 car il permet de voir l'environnement et offre la possibilité d'utiliser un stylet. Cet enregistrement aurait pu se faire avec des lunettes RA (Réalité Augmentée) munies de caméra, mais il n'existe pas à notre connaissance de solution d'annotation visuelle couplée à des lunettes de RA.



Fig. 1. Casque Meta Quest 3 avec son contrôleur gauche et le stylet Logitech MX Ink

Liste du matériel utilisé :

- Un casque Meta Quest 3 avec une sangle KIWI design pour avoir une mise en place plus confortable via le serrage de type vis
- Un micro-cravate Rode Pro avec son récepteur
- Un contrôleur gauche Meta
- Un stylet XR Logitech MX Ink
- Un câble Meta Link ou un hub 4g pour récupérer la diffusion de la vue du casque sur le pc portable.
- Une webcam pour la vue du formateur dans son environnement.
- Un PC portable avec le logiciel OBS, logiciel libre et open source pour l'enregistrement vidéo.

E-DEFFINUM Synthèse de l'expérimentation d'un recueil de données en XR pour la scénarisation de formations en Réalité Virtuelle Immersive.

Par sécurité nous avons utilisé un micro-cravate car nous avons déjà testé ce dispositif dans un environnement qui peut être bruyant et nous étions satisfait par la qualité d'enregistrement. Un comparatif doit être fait avec le micro intégré au casque.

5.2. Fonctionnalités par rôle

Le tableau présente les fonctionnalités par rôles d'utilisateurs.

		Formateur expert-métier	Ingénieur pédagogique	Infographiste 3D	Développeur
Application XR	Visualisation de la liste des activités et tâches à travers un menu Ce menu est repositionnable dans l'environnement afin de ne pas gêner l'utilisateur.	x			
	Visualisation de la description d'une tâche	x			
	Ajout et suppression d'une tâche	x			
	Prise de vue (gâchette index)	x			
	Annotation manuscrite dans l'environnement (stylet)	x			
	Annotation audio (micro intégré dans le casque)	x			
	Indication qu'une tâche a été réalisée.	x			
Plateforme Web	Création et édition du découpage en activités et tâches		x		
	Consultation des activités et tâches avec les médias associés	x	x	x	x
	Édition des images		x		

On peut noter que l'application XR est destinée aux formateurs et experts métiers et la plateforme web à l'ensemble des utilisateurs et plus particulièrement à l'ingénieur pédagogique sur la phase de conception.

E-DEFFINUM Synthèse de l'expérimentation d'un recueil de données en XR pour la scénarisation de formations en Réalité Virtuelle Immersive.

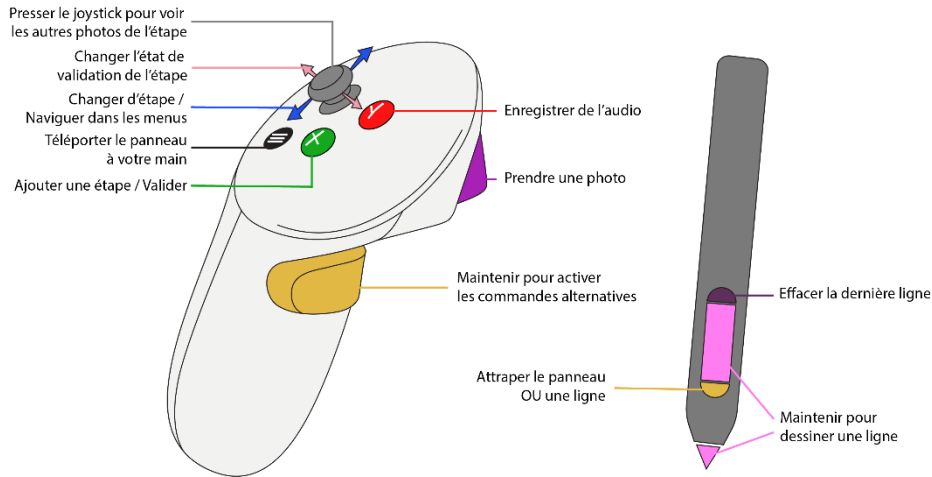


Fig. 2. Illustration présentant les fonctionnalités du contrôleur et du stylet. Cette illustration est intégrée comme aide dans l'application XR



Fig. 3. Utilisation par le formateur de l'application XR. À gauche, une capture d'écran de la vue casque « passthrough » du formateur présentant l'interface utilisateur. À droite, la vue du formateur dans l'environnement lors de l'utilisation l'application XR. Le formateur a positionné l'interface utilisateur au-dessus de la machine, de manière à ne pas être gêné lors des tâches, tout en la gardant à proximité.

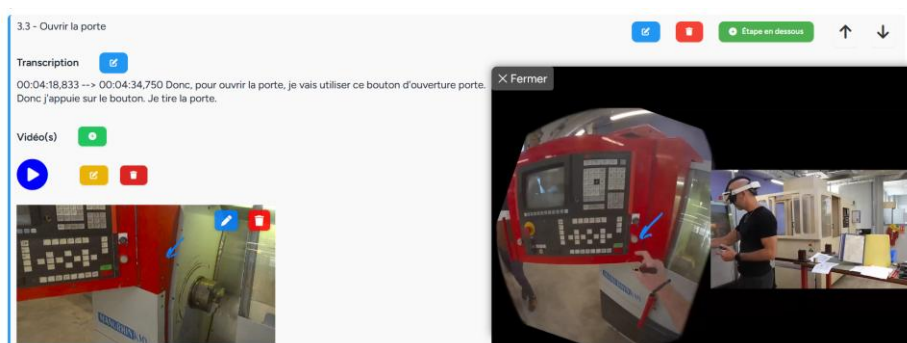


Fig. 4. Capture d'écran de la plateforme web présentant une tâche avec l'intitulé de la tâche (Ouvrir la porte), la transcription du formateur, (Donc pour ouvrir la porte, je vais

utiliser ce bouton d'ouverture porte. Donc j'appuie sur le bouton. Je tire la porte), la prise de vue associée (à gauche) et la vidéo (à droite) avec l'assemblage de la vue casque « passthrough » et de la vidéo présentant le formateur dans l'environnement. Les sous-titres de l'explication du formateur sont également disponibles.

Note : la photo ayant été prise lors de la première expérimentation, nous avons un décalage des annotations qui a été corrigé par la suite.



Fig. 5. Capture d'écran de la vidéo présentant l'assemblage de la vue casque « passthrough » et de la vidéo présentant le formateur dans l'environnement.

Le formateur annote ici le mouvement que va faire la tourelle. La vue du formateur dans son environnement permet de voir où il se situe et voir éventuellement des gestes que l'on ne verrait pas via la vue à la première personne. La captation vidéo du formateur dans son environnement de travail permet de contextualiser ses gestes et visualiser sa position. De plus, certains gestes pourraient ne pas être visible dans la vue à la première personne à travers les caméras du casque.

5.3. L'annotation en détails

Le stylet est équipé d'un bouton sensible à la pression permettant de gérer l'épaisseur du tracé.

Chaque tracé est relié à une tâche pour ne pas gêner sur les tâches suivantes.

Les annotations peuvent être effacées et déplacées dans l'environnement.

On peut dupliquer une annotation d'une tâche à une autre.

5.4. Données recueillies

Dans le cadre de l'expérimentation nous avons réalisé des enregistrements audio ou vidéos des séances de travail avec les formateurs afin de pouvoir les analyser par la suite.

5.5. Technologies utilisées pour le démonstrateur

La plateforme web est basée sur les technologies web, PHP/MySQL, HTML, CSS et Javascript avec le framework open source Laravel.

L'application XR est développée avec Unity 6000.0.37f1 en utilisant le SDK Meta XR Core version 76.0.0, ainsi que Meta XR Interaction SDK.

E-DEFFINUM Synthèse de l'expérimentation d'un recueil de données en XR pour la scénarisation de formations en Réalité Virtuelle Immersive.

Utilisation d'open XR et des prefabs fournis par logitech MX Ink OpenXR unity package. Avec la version 74 du SDK Meta XR Core, Meta a rendu possible l'accès aux caméras RVB passthrough du casque permettant de capturer la vue de l'environnement. Ceci nous a permis de développer une application dans laquelle nous pouvons visualiser l'environnement, l'enrichir et le capturer.

5.6. Communication entre la plateforme web et l'application XR

L'échange de données entre la plateforme web et l'application XR se fait pour l'instant manuellement, la structure des données est contenue dans un fichier JSON et ce fichier est téléchargé depuis la plateforme web pour ensuite être intégré dans la mémoire du casque et inversement une fois le fichier enrichi en XR.

6. Procédure expérimentale

L'expérimentation s'est déroulée en plusieurs phases. La première phase consiste pour l'ingénieur pédagogique à analyser le référentiel du diplôme pour se familiariser avec les attendus de la formation. Ceci donne le contexte nécessaire lors de l'entretien d'explicitation fait avec le formateur dans la deuxième phase.

Lors de la troisième phase l'ingénieur pédagogique définit les objectifs pédagogiques et découpe la mission en activités et tâches. Ce découpage sert de support à la quatrième phase pour affiner le découpage avec le formateur. Ce découpage est ensuite chargé dans l'application XR pour permettre au formateur de l'enrichir durant la cinquième phase de collecte des données en XR.

La sixième phase consiste à traiter les données recueillies pour les intégrer dans la plateforme web.

Ensuite dans la septième phase, l'ingénieur pédagogique valide les ressources multimédias avec le formateur.

Pour finir, l'ingénieur pédagogique découpe les tâches en actions unitaires à destination des développeurs et des infographistes dans la huitième phase.

Tableau synthétisant les différentes phases avec les rôles impliqués, l'objectif et le déroulement de la phase. Ingénieur Pédagogique a été abrégé IP pour la lisibilité du tableau.

Phases	Qui	Objectif	Comment
1 Analyse du référentiel de compétences	IP	Se familiariser avec les objectifs de la formation	Lecture du référentiel pour comprendre les attendus de la formation et analyser les compétences en jeu
2 Entretien d'explicitation avec les formateurs	IP Formateur	Passer de l'implicite à l'explicite pour obtenir une description aussi fine que possible de l'activité du formateur lors de la réalisation des tâches.	Entretien réalisé avec les techniques proposées par (Vermersch, 1994)
3 Découpage de la mission en activités et tâches représentés en séquences et étapes	IP	Faciliter le travail à venir en proposant une structure	Suite à l'entretien d'explicitation, l'ingénieur pédagogique crée une liste des activités et tâches à réaliser.
4 Validation et enrichissement	IP Formateur	Prendre conscience des différentes	Travail sur la liste des activités et tâches projetées à l'écran.

du découpage de la mission		tâches et avoir une description plus fine via une analyse réflexive.	
5 Explicitation, annotation et illustration des tâches	Formateur	Enrichir le découpage avec des médias pour faciliter la scénarisation	La liste des tâches est affichée dans le casque en XR, le formateur va réaliser les tâches, les expliciter, les annoter et les illustrer
6 Traitement des données recueillies	IP	Centraliser les médias sur la plateforme web	Récupération des données enregistrées sur le casque (structure du scénario et prises de vues et de son). Chapitrage de la vidéo. Transcription et sous-titrage de la vidéo. Le sous-titrage est réalisé avec Adobe Premiere Pro, il doit ensuite être relu et corrigé humainement.
7 Validation des ressources multimédias	IP Formateur	Vérifier que les illustrations, les annotations et les explications sont exactes.	En passant en revue les différentes tâches et en éditant les prises de vue et la transcription si besoin.
8 Scénarisation pédagogique des tâches en les découpant en action et en ajoutant l'apport théorique.	IP	Fournir un scénario détaillé pour les infographistes 3D et les développeurs.	En décrivant précisément les actions de chaque acteurs/sujets du scénario.

6.1. Déroulé de la phase 5

Le formateur est équipé du casque, du micro-cravate, du contrôleur et du styler.

Le casque est relié au PC via le WIFI ou un câble Meta Link afin de voir ce que le formateur voit en passthrough.

La restitution vidéo du casque ainsi que le son du micro-cravate sont enregistrés avec le logiciel OBS (Open Broadcaster Studio Software)

6.2. Prise en main de l'application XR

Afin de se familiariser avec le matériel et l'application, le formateur est invité à illustrer une séquence sur le démarrage d'un PC portable. Cette séquence a été choisie car elle est simple à comprendre et à mettre en place. Lors de cette prise en main l'utilisateur est invité à visualiser les différentes tâches, les illustrer et les annoter.

6.3. Utilisation de l'application XR

L'utilisateur a comme consigne d'explicitier à haute voix ce qu'il fait, afin de récupérer les informations qui n'ont pas nécessairement été données à l'écrit lors de la description des tâches. L'utilisateur réalise les différentes tâches, les annote si besoin et les illustre.

7. Analyse des données et résultats

Nous avons réalisé une analyse qualitative des traces audio-vidéo de l'activité de deux formateurs et nous nous sommes focalisés sur les gestes nécessaires à la scénarisation. Tout d'abord, les deux formateurs ont pris en main l'application facilement et ils ont utilisé les possibilités d'annotation dans l'environnement, ainsi que la prise de vue. Les formateurs avaient tendance à réaliser toutes les tâches d'une activité en les illustrant puis à vérifier que cela correspondait à ce qu'ils avaient décrit auparavant. Ceci pose un problème car les prises de vues sont rattachées à la tâche initiale de l'activité et non à chaque tâche. Le stylet a été utilisé pour préciser l'objet avec lequel interagir, pour indiquer un mouvement et pour apporter des connaissances théoriques dans le contexte réel.

L'analyse des enregistrements vidéo montre que

- Les formateurs utilisent le stylet pour annoter l'environnement physique (machine, composants, etc.) et utilisent la fonctionnalité « prise de vue », permettant ainsi d'illustrer leur action sur la machine. Cependant, nous avons constaté que quelquefois les formateurs n'ont ni annoté ni réalisé une prise de vue.
- L'annotation en XR peut faciliter l'explicitation de concept complexe, en les illustrant directement dans l'environnement. Ainsi dans la capsule de formation POP, le dessin en XR a permis de fournir des explications directement dans le tour numérique ce qui facilite la compréhension en comparaison à une explication sur un espace en 2D comme un tableau ou un écran.
- Les formateurs peuvent être contraints de poser le contrôleur et ou le stylet lorsqu'ils doivent utiliser leurs deux mains pour effectuer une tâche.

7.1. Limites de l'étude

Le scénario testé est linéaire. Il est techniquement possible de faire des scénarios à embranchements, ceci doit être éprouvé durant les prochains tests.

La méthode et l'applications ont été testées sur une seule formation composée de deux scénarios avec deux formateurs. Il conviendra donc d'étendre cette étude.

Sur des tâches précises, on ne voit pas assez précisément ce qu'il se passe. Par exemple dans le scénario POP, lors de l'utilisation de la pinnule de centrage, nous ne voyons pas assez précisément le moment lorsqu'elle est alignée du fait de la résolution des caméras. Nous pouvons en déduire que le recueil de données en XR n'est peut-être pas adapté dans des domaines où la captation doit être très qualitative. Ceci pourrait toutefois évoluer si la résolution des caméras s'améliore.

Pendant la phase de pré-test du démonstrateur, grâce aux retours d'expérience avec les deux formateurs, nous avons constaté quelques problèmes que nous avons résolus. Par exemple, la prise de vue formateur était déclenchée accidentellement lorsque le contrôleur était maintenu uniquement avec la lanière. Pour le résoudre, nous avons modifié le script pour permettre le déclenchement de la photo après le maintien du bouton pendant une seconde. Également, nous avons modifié le script pour permettre de supprimer une photo prise accidentellement.

De plus, nous avons développé la fonctionnalité pour visualiser la liste des tâches, pour permettre au formateur de suivre le découpage fait en amont.

E-DEFFINUM Synthèse de l'expérimentation d'un recueil de données en XR pour la scénarisation de formations en Réalité Virtuelle Immersive.

H	L	U	E	F	G	I	J	K	L
14	1.1	Avatar Robot	donne consigne			numérique pour procurer des séries de pièces. Pour			
15	1.2	Apprenant	Clic sur le dossier technique, posé sur une table à côté du tour	Apprenant peut afficher les différentes pages du dossier technique	Le dossier technique s'affiche à l'écran. Le dossier technique est posé sur un établi pas très loin du tour			39	0,26
16	1.3	Avatar Robot	donne informations					0	0,1
17	1.4	SYSTEME	Met le focus sur le dessin de définition					28	0,19
18	1.5	Apprenant	consulte le dessin de définition					0	0,1
19	1.6	Avatar Robot	donne informations			À présent, la gamme d'usinage vous permet de visualiser la chronologie des différentes phases de fabrication de la pièce. On va faire la phase dis. On va visualiser, le nombre de pièce à faire, l'ensemble des phases du procédé de fabrication de la pièce et pour chaque phase, la machine utiliser et la mise en position géométrique.		0	0,1
20	1.7	SYSTEME	Met le focus sur la gamme d'usinage et encadre la phase dis	les informations indiquées par Ed doivent être encadrée au moment où elles sont indiquées. Si n'a et simple, faire une usin.				57	0,38
21	1.8	Apprenant	consulte la gamme d'usinage					0	0,1
22	1.9	Avatar Robot	donne informations	Ne pas mettre les informations entre () qui servent à se repérer sur le visuel.				0	0,1
23	1.10			les informations indiquées par				0	0,1

Fig. 7. Aperçu de l'onglet script du scénario préparation de l'usinage

Les scénarios complets sont disponibles en annexes :

Positonnement_OP_fraiseuse_rev_D.xlsx

STR_TE_BRP_07_JS_01_usinage_rev_D.xlsx

9. Conclusion

Cette phase exploratoire nous a permis de tester et d'améliorer l'application d'annotation et de prise de vue en XR grâce aux retours des formateurs. Ces premiers résultats semblent indiquer que le processus d'annotation peut être fait en grande partie durant la captation, réduisant ainsi le besoin d'annotation post captation. Ces résultats semblent également indiquer que le découpage peut être validé durant la captation. Concernant les deux autres hypothèses, nous n'avons pas encore de résultat car le travail est en cours, c'est-à-dire vérifier que les aller-retours entre l'infographiste et l'expert métier et l'ingénieur pédagogique et l'expert métier sont réduits grâce à la médiatisation riche du découpage initial.

La scénarisation étant différente selon les domaines, notre solution n'est pas universelle, elle répond au besoin sur des formations techniques notamment.

L'étude doit être menée auprès d'un échantillon de formateur plus large sur des formations différentes afin de confirmer ou infirmer ces premiers résultats.

Pour résoudre la problématique où les formateurs illustrent plusieurs tâches dans une même tâche, plusieurs solutions peuvent être envisagées, soit proposer de passer à la tâche suivante après la prise de vue, soit pouvoir déplacer les photos d'une tâche à une autre dans l'application XR.

Lorsque les formateurs doivent utiliser leurs deux mains pour réaliser une tâche une solution pourrait être de proposer une ceinture porte-outils leur permettant de ranger le stylet et le contrôleur sur eux, ce qui éviterait de devoir trouver un endroit pour les poser et de les perdre de vue.

10. Crédits illustrations

Figure 3 image credit: XR Data Collection Steps, Ludovic MESSINGER, 2025 CC BY ND 4.0 <https://cc.3e-innovation.com/sci-25-xr-data-collection-steps>

Figure 4 image credit: XR Data Collection Web App, Ludovic MESSINGER, 2025 CC BY ND 4.0 <https://cc.3e-innovation.com/sci-25-xr-data-collection-web-app>

Figure 5 image credit: XR Data Collection Inside Lathe, Ludovic MESSINGER, 2025 CC BY ND 4.0 <https://cc.3e-innovation.com/sci-25-xr-data-collection-inside-lathe>

Figure 6 image credit: VR scenario with XR data collection (photos), Ludovic MESSINGER, 2025 CC BY ND 4.0 <https://cc.3e-innovation.com/sci-25-xr-data-collection-vr-scenario-photos>

Figure 7 image credit: VR scenario with XR data collection (documents), Ludovic MESSINGER, 2025 CC BY ND 4.0 <https://cc.3e-innovation.com/sci-25-xr-data-collection-vr-scenario-documents>

E-DEFFINUM Synthèse de l'expérimentation d'un recueil de données en XR pour la scénarisation de formations en Réalité Virtuelle Immersive.

11. Bibliographie

- AHLERS, TIMO, BUMANN, CASSANDRA, KÖLLE, RALPH AND LAZOVIĆ, MILICA. "FOREIGN LANGUAGE TANDEM LEARNING IN SOCIAL VR: CONCEPTION, IMPLEMENTATION AND EVALUATION OF THE GAME-BASED APPLICATION HOLOLINGO!" I-COM, VOL. 21, NO. 1, 2022, PP. 203-215. [HTTPS://DOI.ORG/10.1515/ICOM-2021-0039](https://doi.org/10.1515/icom-2021-0039)
- ALLEN, W. C. (2006). OVERVIEW AND EVOLUTION OF THE ADDIE TRAINING SYSTEM. ADVANCES IN DEVELOPING HUMAN RESOURCES, 8(4), 430-441.
- AZUMA, R. T. (1997). A SURVEY OF AUGMENTED REALITY. PRESENCE: TELEOPERATORS ET VIRTUAL ENVIRONMENTS, 6(4), 355-385.
- BLANDIN, B., & QUERREC, R. (2014). QUELLE METHODE POUR CONCEVOIR UN ENVIRONNEMENT VIRTUEL POUR APPRENDRE UNE ACTIVITE. IN TROISIEME COLLOQUE INTERNATIONAL DE DIDACTIQUE PROFESSIONNELLE: CONCEPTION ET FORMATION [EN LIGNE: [HTTPS://DIDACTIQUEPROFESSIONNELLE. NING. COM/PAGE/ARCHIVES-PUBLIQUES, 4102_BLANDINBERNARDQUERRECRONAN. PDF](https://didactiqueprofessionnelle.ning.com/page/archives-publiques,4102_BLANDINBERNARDQUERRECRONAN.PDF)].
- BROWN, P. C., ROEDIGER, H. L., ET MCDANIEL, M. A. (2016). METS-TOI ÇA DANS LA TÊTE!: LES STRATEGIES D'APPRENTISSAGE A LA LUMIERE DES SCIENCES COGNITIVES. ÉDITIONS MARKUS HALLER.
- BOCCARA, V., ET DELGOULET, C. (2015). L'ANALYSE DES TRAVAUX POUR LA CONCEPTION EN FORMATION. CONTRIBUTION DE L'ERGONOMIE A L'ORIENTATION DE LA CONCEPTION AMONT D'UN ENVIRONNEMENT VIRTUEL POUR LA FORMATION. ACTIVITÉS, 12(12-2).
- BUTTUSSI, F., ET CHITTARO, L. (2017). EFFECTS OF DIFFERENT TYPES OF VIRTUAL REALITY DISPLAY ON PRESENCE AND LEARNING IN A SAFETY TRAINING SCENARIO. IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS, 24(2), 1063-1076.
- DALGARNO, B., ET LEE, M. J. (2010). WHAT ARE THE LEARNING AFFORDANCES OF 3-D VIRTUAL ENVIRONMENTS?. BRITISH JOURNAL OF EDUCATIONAL TECHNOLOGY, 41(1), 10-32.
- DE LOOR, P., & TISSEAU, J. (2011). REALITE VIRTUELLE ET ENACTON. JOURNAL DE L'ASSOCIATION FRANÇAISE DE REALITE VIRTUELLE, (10), 3-PAGES.
- DRAGON, T., & WOOLF, B. P. (2006). GUIDANCE AND COLLABORATION STRATEGIES IN ILL-DEFINED DOMAINS. INTELLIGENT TUTORING SYSTEMS FOR ILL-DEFINED DOMAINS, 65.
- EMIN, V., PERNIN, J. P., ET GUÉRAUD, V. (2011). SCENARISATION PEDAGOGIQUE DIRIGEE PAR LES INTENTIONS. REVUE STICEF, 18.
- FOWLER, C. (2015). VIRTUAL REALITY AND LEARNING: WHERE IS THE PEDAGOGY? BRITISH JOURNAL OF EDUCATIONAL TECHNOLOGY VOL 46 NO 2 2015 412–422 DOI:10.1111/BJET.12135
- GANIER 1, F., HOAREAU 2, C., ET DEVILLERS 3, F. (2013). ÉVALUATION DES PERFORMANCES ET DE LA CHARGE DE TRAVAIL INDUITS PAR L'APPRENTISSAGE DE PROCEDURES DE MAINTENANCE EN ENVIRONNEMENT VIRTUEL. LE TRAVAIL HUMAIN, 76(4), 335-363.
- GOLDIN-MEADOW, S. (2011). LEARNING THROUGH GESTURE. WILEY INTERDISCIPLINARY REVIEWS: COGNITIVE SCIENCE, 2(6), 595-607.

E-DEFFINUM Synthèse de l'expérimentation d'un recueil de données en XR pour la scénarisation de formations en Réalité Virtuelle Immersive.

GUÉRAUD, V., ADAM, J. M., PERNIN, J. P., CALVARY, G., & DAVID, J. P. (2004). L'EXPLOITATION D'OBJETS PEDAGOGIQUES INTERACTIFS A DISTANCE: LE PROJET FORMID. STICEF (SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION POUR L'ÉDUCATION ET LA FORMATION), 11, 46-PAGES.

GUTIERREZ-MARTINEZ, O., GUTIERREZ-MALDONADO, J., ET LORETO-QUIJADA, D. (2011). CONTROL OVER THE VIRTUAL ENVIRONMENT INFLUENCES THE PRESENCE AND EFFICACY OF A VIRTUAL REALITY INTERVENTION ON PAIN. ANNUAL REVIEW OF CYBERTHERAPY AND TELEMEDICINE 2011, 111-115.

JAMALI, S. S., SHIRATUDDIN, M. F., WONG, K. W., ET OSKAM, C. L. (2015). UTILISING MOBILE-AUGMENTED REALITY FOR LEARNING HUMAN ANATOMY. PROCEDIA-SOCIAL AND BEHAVIORAL SCIENCES, 197, 659-668.

JOHNSON-GLENBERG, M. C., BARTOLOMEA, H., & KALINA, E. (2021). PLATFORM IS NOT DESTINY: EMBODIED LEARNING EFFECTS COMPARING 2D DESKTOP TO 3D VIRTUAL REALITY STEM EXPERIENCES. JOURNAL OF COMPUTER ASSISTED LEARNING, 37(5), 1263-1284.

JOHNSON-GLENBERG, M. C. (2018). IMMERSIVE VR AND EDUCATION: EMBODIED DESIGN PRINCIPLES THAT INCLUDE GESTURE AND HAND CONTROLS. FRONTIERS IN ROBOTICS AND AI, 5, 81.

KARDONG-EDGREN, S. S., FARRA, S. L., ALINIER, G., ET YOUNG, H. M. (2019). A CALL TO UNIFY DEFINITIONS OF VIRTUAL REALITY. CLINICAL SIMULATION IN NURSING, 31, 28-34.

KE, F., MOON, J., ET SOKOLIKJ, Z. (2022). VIRTUAL REALITY-BASED SOCIAL SKILLS TRAINING FOR CHILDREN WITH AUTISM SPECTRUM DISORDER. JOURNAL OF SPECIAL EDUCATION TECHNOLOGY, 37(1), 49-62.

KIM, C. M., YOUN, J. H., JI, Y. K., ET CHOI, D. Y. (2014). DESIGN AND ASSESSMENT OF A VIRTUAL UNDERWATER MULTISENSORY EFFECTS REPRODUCING SIMULATION SYSTEM. INTERNATIONAL JOURNAL OF DISTRIBUTED SENSOR NETWORKS, 10(7), 420428.

LAMPROPOULOS, G., KINSHUK VIRTUAL REALITY AND GAMIFICATION IN EDUCATION: A SYSTEMATIC REVIEW. EDUCATION TECH RESEARCH DEV (2024). [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S11423-024-10351-3](https://doi.org/10.1007/s11423-024-10351-3)

LANQUEPIN, V., CARPENTIER, K., LOURDEAUX, D., LHOMMET, M., BAROT, C., ET AMOKRANE, K. (2013, MARCH). HUMANS: A HUMAN MODELS BASED ARTIFICIAL ENVIRONNEMENTS SOFTWARE PLATFORM. IN PROCEEDINGS OF THE VIRTUAL REALITY INTERNATIONAL CONFERENCE: LAVAL VIRTUAL (PP. 1-8).

LEE, K. M. (2004). PRESENCE, EXPLICATED. COMMUNICATION THEORY, 14(1), 27-50.

LOUP-ESCANDE, E., JAMET, É., RAGOT, M., ERHEL, S., MICHINOV, N., PELTIER, C., & LOPEZ, T. (2015). CONCEVOIR DES ENVIRONNEMENTS VIRTUELS EDUCATIFS AVEC LES UTILISATEURS FINAUX: EXEMPLE DU PROJET VIRTUALITEACH. TERMINAL. TECHNOLOGIE DE L'INFORMATION, CULTURE & SOCIETE, (117).

LOURDEAUX, D., BENABBOU, A., HUGUET, L., ET LACAZE-LABADIE, R. (2017, JULY). HUMANS: SUITE LOGICIELLE POUR LA SCENARISATION D'ENVIRONNEMENTS VIRTUELS POUR LA FORMATION A DES SITUATIONS SOCIO-TECHNIQUES COMPLEXES. IN 3E CONFERENCE NATIONALE SUR LES APPLICATIONS PRATIQUES DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE (APIA 2017) (PP. 61-68).

LUENGO, V., MUFTI-ALCHAWAFA, D., & VADCARD, L. (2004, AUGUST). THE KNOWLEDGE LIKE THE OBJECT OF INTERACTION IN AN ORTHOPAEDIC SURGERY-LEARNING ENVIRONMENT. IN INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT TUTORING SYSTEMS (PP. 108-117). BERLIN, HEIDELBERG: SPRINGER BERLIN HEIDELBERG.

MAHDI, O. (2021). MODELE ET OUTIL POUR ASSISTER LA SCENARISATION DES ACTIVITES PEDAGOGIQUES ORIENTEES RV (DOCTORAL DISSERTATION, LE MANS).

E-DEFFINUM Synthèse de l'expérimentation d'un recueil de données en XR pour la scénarisation de formations en Réalité Virtuelle Immersive.

MAKOWSKI D, SPERDUTI M, NICOLAS S, PIOLINO P. "BEING THERE" AND REMEMBERING IT: PRESENCE IMPROVES MEMORY ENCODING. *CONSCIOUS COGN.* 2017 AUG;53:194-202. DOI: 10.1016/J.CONCOG.2017.06.015. EPUB 2017 JUL 1. PMID: 28676191.

MAKRANSKY, G., ET PETERSEN, G. B. (2021). THE COGNITIVE AFFECTIVE MODEL OF IMMERSIVE LEARNING (CAMIL): A THEORETICAL RESEARCH-BASED MODEL OF LEARNING IN IMMERSIVE VIRTUAL REALITY. *EDUCATIONAL PSYCHOLOGY REVIEW*, 33(3), 937–958. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S10648-020-09586-2](https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2)

MOORE, J. W., ET FLETCHER, P. C. (2012). SENSE OF AGENCY IN HEALTH AND DISEASE: A REVIEW OF CUE INTEGRATION APPROACHES. *CONSCIOUSNESS AND COGNITION*, 21(1), 59-68.

NIZAM, S. M., ABIDIN, R. Z., HASHIM, N. C., LAM, M. C., ARSHAD, H., ET MAJID, N. A. A. (2018). A REVIEW OF MULTIMODAL INTERACTION TECHNIQUE IN AUGMENTED REALITY ENVIRONMENT. *INT. J. ADV. SCI. ENG. INF. TECHNOL*, 8(4-2), 1460.

OUBAHSSI, L., PIAU-TOFFOLON, C., ET MAHDI, O. (2024). VR-PEAS: A VIRTUAL REALITY PEDAGOGICAL SCENARISATION TOOL. *INTERACTIVE LEARNING ENVIRONMENTS*, 1–18. [HTTPS://DOI.ORG/10.1080/10494820.2024.2308094](https://doi.org/10.1080/10494820.2024.2308094)

PAQUETTE, G. (2007). L'INSTRUMENTATION DE LA SCENARISATION PEDAGOGIQUE. *REVUE INTERNATIONALE DES TECHNOLOGIES EN PEDAGOGIE UNIVERSITAIRE*, 4(2), 57-71

PARONG, J., & MAYER, R. E. (2018). LEARNING SCIENCE IN IMMERSIVE VIRTUAL REALITY. *JOURNAL OF EDUCATIONAL PSYCHOLOGY*, 110(6), 785.

PERNIN, J. P., ET EMIN, V. (2006). EVALUATION DES PRATIQUES DE SCENARISATION DE SITUATIONS D'APPRENTISSAGE: UNE PREMIERE ETUDE. IN *ACTES EN LIGNE DU COLLOQUE TICE MEDITERRANEE 2006* (PP. 13-PAGES).

PERRY, B. (2015). GAMIFYING FRENCH LANGUAGE LEARNING: A CASE STUDY EXAMINING A QUEST-BASED, AUGMENTED REALITY MOBILE LEARNING-TOOL. *PROCEDIA-SOCIAL AND BEHAVIORAL SCIENCES*, 174, 2308-2315.

RITZ, LEAH T. (2015). TEACHING WITH CAVE VIRTUAL REALITY SYSTEMS: INSTRUCTIONAL DESIGN STRATEGIES THAT PROMOTE ADEQUATE COGNITIVE LOAD FOR LEARNERS. UNIVERSITY OF WYOMING. THESIS. [HTTPS://DOI.ORG/10.15786/13686982.V3](https://doi.org/10.15786/13686982.v3)

ROUSSOU, M. (2004). LEARNING BY DOING AND LEARNING THROUGH PLAY: AN EXPLORATION OF INTERACTIVITY IN VIRTUAL ENVIRONMENTS FOR CHILDREN. *COMPUTERS IN ENTERTAINMENT (CIE)*, 2(1), 10-10.

SHAPIRO, L. (2019). *EMBODIED COGNITION*. ROUTLEDGE.

SLATER, M., ET WILBUR, S. (1997). A FRAMEWORK FOR IMMERSIVE VIRTUAL ENVIRONMENTS (FIVE): SPECULATIONS ON THE ROLE OF PRESENCE IN VIRTUAL ENVIRONMENTS. *PRESENCE: TELEOPERATORS ET VIRTUAL ENVIRONMENTS*, 6(6), 603-616.

TOFFREGEN, T. A., BARDY, B. G., & MANTEL, B. (2006). AFFORDANCES IN THE DESIGN OF ENACTIVE SYSTEMS. *VIRTUAL REALITY*, 10, 4-10.

TAOUM, J., QUERREC, R., SAUNIER, J., ET BLANDIN, B. (2015, OCTOBER). EAST: ENVIRONNEMENTS D'APPRENTISSAGE SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES. IN *LES JOURNEES DE L'AFRV 2015*..

E-DEFFINUM Synthèse de l'expérimentation d'un recueil de données en XR pour la scénarisation de formations en Réalité Virtuelle Immersive.

WAGNER, D., ET BARAKONYI, I. (2003, OCTOBER). AUGMENTED REALITY KANJI LEARNING. IN THE SECOND IEEE AND ACM INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MIXED AND AUGMENTED REALITY, 2003. PROCEEDINGS. (PP. 335-336). IEEE.

WILSON, A.S., O'CONNOR, J., TAYLOR, L., CARRUTHERS, D. (2017). A CASE STUDY INTO THE USE OF VIRTUAL REALITY AND GAMIFICATION IN OPHTHALMOLOGY TRAINING. IN: ALCAÑIZ, M., GÖBEL, S., MA, M., FRADINHO OLIVEIRA, M., BAALSRUD HAUGE, J., MARSH, T. (EDS) SERIOUS GAMES. JCSG 2017. LECTURE NOTES IN COMPUTER SCIENCE(), VOL 10622. SPRINGER, CHAM. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/978-3-319-70111-0_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70111-0_15)

VERMERSCH, P. (1994) ENTRETIEN D'EXPLICITATION -ESF