



HAL
open science

Approche multidimensionnelle et collaborative de la conception de formations professionnelles immersive centrée sur les utilisateurs

Isaline Bisson

► **To cite this version:**

Isaline Bisson. Approche multidimensionnelle et collaborative de la conception de formations professionnelles immersive centrée sur les utilisateurs. Autre. Université Bourgogne Franche-Comté, 2023. Français. NNT : 2023UBFCA024 . tel-04587436

HAL Id: tel-04587436

<https://theses.hal.science/tel-04587436v1>

Submitted on 24 May 2024

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.



**THESE DE DOCTORAT DE L'ETABLISSEMENT UNIVERSITE BOURGOGNE FRANCHE-COMTE
PREPAREE A L'UNIVERSITE DE TECHNOLOGIE DE BELFORT-MONTBELARD**

Ecole doctorale n°37

Ecole doctorale Sciences Pour l'Ingénieur et Microtechniques (SPIM)

Doctorat en Sciences pour l'Ingénieur

Par

Mme. BISSON Isaline

Approche multidimensionnelle et collaborative de la conception de formations professionnelles
immersives centrée sur les utilisateurs

Thèse présentée et soutenue à « Montbéliard », le « 19 décembre 2023 »

Composition du Jury :

M. AOUSSAT Améziane	Professeur des Universités, ENSAM Paris Tech	Président
M. CHRISTMANN Olivier	Maître de conférences, ENSAM Anger	Rapporteur
M. GOUTAUDIER Frédéric	Chef de projet digital, Stäubli	Invité
M. MAHDJOUR Morad	Maitre de conférences, UBFC, UTBM	Co-encadrant de thèse
M. RICHIR Simon	Professeur des Universités, ENSAM Angers	Examineur
M. RAVIER Franck	Responsable secteur méthodes, Stäubli	Invité
M. SAGOT Jean-Claude	Professeur des Université, UBFC, UTBM	Directeur de thèse
M. THOMANN Guillaume	Professeur des Universités, Grenoble INP	Rapporteur
M. ZARE Mohsen	Maitre de conférences, UBFC, UTBM	Co-encadrant de thèse

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers tous ceux qui ont contribué à la réalisation de cette thèse, en particulier :

A Monsieur Guillaume THOMANN, Professeur des Universités à l'université de Grenoble INP et à Monsieur Olivier CHRISTMAN, maître de conférences aux Arts et Métiers d'Angers pour avoir accepté de juger ce travail et de me faire l'honneur d'en être les rapporteurs. Je vous remercie pour l'intérêt que vous avez montré pour mon travail et pour vos nombreux commentaires.

A Monsieur Améziane AOUSSAT, Professeur des Universités aux Arts et Métiers Paris Tech, Directeur du Laboratoire Conception de Produits et Innovation (LCPI) pour m'avoir fait l'honneur de présider mon jury de thèse.

A Monsieur Simon RICHIR, Professeur des Universités aux Arts et Métiers d'Angers, Responsable de l'Equipe Présence et Innovation (PI) pour avoir accepté de participer à mon jury de thèse et d'en être l'examineur.

A mon directeur de thèse Monsieur Jean-Claude SAGOT, Professeur Emérite de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UBFC-UTBM). Je vous remercie de m'avoir accompagné depuis mon cursus ingénieur jusqu'à la fin de cette thèse. Je tiens également à vous remercier pour votre confiance, votre soutien et vos nombreux conseils.

A mon co-encadrant de thèse Monsieur Morad MAHDJOUR, enseignant-chercheur de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UBFC-UTBM), je tiens à lui exprimer toute ma reconnaissance pour avoir cru en moi et pour m'avoir guidée avec bienveillance à chaque étape de cette aventure intellectuelle. Son encadrement a été déterminant dans mon développement en tant que chercheuse et je suis reconnaissante de tout ce qu'il a fait pour m'aider à atteindre ce rêve. Enfin, son soutien a été une source constante d'inspiration et de motivation pour moi.

A mon co-encadrant de thèse Monsieur Mohsen ZARE, enseignant-chercheur de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UBFC-UTBM) pour le partage de son savoir et nos échanges qui ont été précieux pour avancer.

A mon responsable monsieur Franck RAVIER, responsable du secteur méthodes à Stäubli et à monsieur Frédéric GOUTAUDIER, chef de projet digital à Stäubli, qui ont rendu possible la conduite de ces travaux de recherche au sein de l'entreprise Stäubli.

A toute l'équipe ERCOS de l'UTBM, et plus particulièrement à Jeanne-Cécile, Thomas, Vanessa, Maxime, Lucien, Nicolas, Egon et Florian. Je vous remercie pour votre bonne humeur et tous les bons moments avec vous quand je revenais à Montbéliard.

A l'ensemble de l'équipe informatique, pour les moments enrichissants passés au sein de l'entreprise et tout particulièrement un grand merci à Guillaume et Lucas. Je tiens également à remercier tous mes collaborateurs qui ont participé à la réalisation de mes projets, leur implication a été précieuse.

A mes amis qui m'ont accompagné et changé les idées. Ces moments ont été des bouffés d'air frais et m'ont permis d'alléger le poids des défis que je rencontrais. Merci infiniment pour ces souvenirs précieux et pour avoir apporté de la joie lors de cette période intense.

A mes parents, Sandrine et Christophe, pour leur confiance et soutien depuis le début de mon parcours académique. Je vous remercie du fond du cœur pour tout ce que vous avez fait pour moi. Je suis fière de partager ce moment avec vous, et je vous suis éternellement reconnaissante pour tout ce que vous avez fait pour moi. Ce travail de thèse vous est entièrement dédié.

A Florian, pour sa patience, sa présence et ses encouragements constants qui m'ont aidé à surmonter les obstacles et à persévérer dans les moments les plus difficiles. Je te remercie également du fond du cœur pour tout ce que tu as fait pour moi et je suis impatiente de continuer cette nouvelle aventure à tes côtés.

Table des matières

Remerciements	3
Table des matières	5
Chapitre I : Introduction générale	10
1. Contexte des travaux.....	10
a. L'entreprise : Stäubli.....	10
b. Le contexte industriel et la demande de Stäubli : Formation professionnel et industrie 4.0.....	11
c. Le laboratoire d'accueil.....	12
2. Positionnement, problématique, objectifs et contributions	13
3. Organisation du manuscrit.....	18
Chapitre II : Etat de l'art	22
1. Introduction.....	22
2. La formation professionnelle et les Technologies immersives.....	22
3. La conception d'une formation professionnelle immersive	25
a. D'un point de vue informatique	26
b. D'un point de vue de l'ergonomie.....	28
c. D'un point de vue de la pédagogie.....	31
d. Conception collaborative et ses limites	32
4. Problématique scientifique et hypothèses de recherche.....	35
5. Méthodologie de recherche et ma position dans l'entreprise.....	37
Chapitre III : Etude exploratoire	40
1. Objectif et contribution de l'étude	40
2. Participants.....	41
3. Matériel.....	42
4. Procédure	42
5. Analyse des données	43
a. Profil de l'entreprise.....	43
i. Format	43
ii. Contenu	44
iii. Supports	44
iv. Types d'évaluation.....	44
b. Opportunité et freins vis-à-vis de l'utilisation des technologies immersives pour la formation ...	45
i. Difficultés	45
ii. Opportunités vis-à-vis de l'utilisation des technologies immersives pour la formation	47
iii. Freins vis-à-vis de l'utilisation des technologies immersives pour la formation	48
6. Discussion	49
i. De la création de formations immersives au besoin de gestion de la formation immersive ...	50

ii.	Vers des expériences de formation encore plus immersives, interactives et guidées :	51
iii.	Besoin d'un processus opérationnel pour la Conception collaborative multi-métier des applications de formation immersives	52
7.	Synthèse du chapitre	53
Chapitre IV : Expérimentation initiale : proposition d'un premier modèle de conception de FPI.....		55
1.	Objectif et contribution	55
2.	Proposition du 1 ^{er} modèle de processus	56
a.	Rappels de la littérature	56
b.	Proposition	57
3.	Expérimentation : Projet Ratière	61
a.	Présentation de la formation existante	61
b.	Application du processus de conception	62
i.	Analyser le besoin	62
ii.	Concevoir l'approche conceptuelle	63
c.	Présentation de l'application de formation immersive au montage ratière	65
d.	Evaluation du processus de conception :	67
i.	Evaluation de l'UX et de la pertinence pédagogique avec des formés et formateurs de l'entreprise	68
ii.	Différence entre le prescrit et le réel au niveau des activités de conception	76
iii.	Analyse complémentaire du modèle proposé	78
4.	Bilan et préconisations	79
Chapitre V : Série d'expérimentations : Proposition d'un deuxième modèle de conception de FPI		84
1.	Objectifs et contributions	85
2.	Proposition du 2 ^{ème} modèle de processus de conception de FPI	85
3.	Application n°1 du modèle : Formation à distance	95
a.	Objectif expérimental	95
b.	Demande de l'entreprise pilote	95
c.	Application du 2 nd processus de conception de FPI	96
d.	Evaluation du processus de conception	99
i.	Résultat du processus	99
ii.	Différence entre le prescrit et réel	101
e.	Discussion	104
f.	Conclusion	105
4.	Application n° 2 du modèle : Chasse aux risques	106
a.	Objectifs visés	106
b.	Contexte	106
i.	Demande de l'entreprise	106
ii.	Etapes précédant la génération du scénario	107

c.	Etude de l'impact des OICs pour la génération des scénarios	108
i.	Définition et construction des deux OIC retenus pour l'expérience	108
ii.	Participants	110
iii.	Equipement.....	110
iv.	Procédure	110
v.	Données recueillies	111
vi.	Résultats de l'étude	112
d.	Evaluation du processus de conception.....	114
i.	Evaluation du résultat obtenu	114
ii.	Différence entre le prescrit et le réel.....	115
e.	Discussion	118
i.	Etude phase de travail collaboratif de réalisation des scénarios	118
ii.	Etude de notre deuxième proposition de processus de conception de FPI.....	119
f.	Conclusion	120
5.	Application n°3 du modèle de conception : Ratière V2	120
a.	Objectif expérimental.....	120
b.	Demande de l'entreprise	120
c.	Application du 2 nd processus de conception de FPI.....	121
d.	Evaluation du processus de conception.....	124
i.	Résultat du processus	124
ii.	Différence entre le prescrit et le réel.....	126
e.	Discussion	129
6.	Synthèse.....	130
	Chapitre VI : Proposition d'un processus de conception opérationnel de FPI	134
1.	Objectif et contribution	134
2.	Un processus opérationnel pour Stäubli	134
3.	Un processus applicable et outillé	137
4.	Evaluation préliminaire de la roadmap proposée	139
a.	Participants	140
b.	Matériel	140
c.	Procédure	141
d.	Analyse des données	141
i.	Evaluation de l'utilité	142
ii.	Evaluation de l'utilisabilité.....	143
iii.	Evaluation de l'acceptabilité	144
5.	Conclusion et perspectives de la roadmap	145
	Chapitre VII : Conclusion et perspectives	149

1.	Conclusion générale	149
a.	La compréhension de la formation professionnelle au sein de Stäubli	150
b.	Processus de conception collaborative de formation professionnelle immersive centrée sur l'utilisateur	150
c.	L'analyse de phases de collaboration	152
d.	Proposer un processus opérationnel, applicable et outillé pour Stäubli	152
2.	Perspectives de recherche	153
a.	Des perspectives liées au processus de conception de FPI	153
b.	Des perspectives stratégiques au niveau de l'entreprise pilote	157
i.	Définition des axes stratégiques	157
ii.	Proposition de perspectives à horizon 2030	159
	Bibliographie	162
	Table des illustrations	174
	Table des tableaux	176
	Liste des acronymes	177
	Liste des publications	178
	Annexes	180
1.	Annexe 1 : Guide entretien qualitatif	180
2.	Annexe 2 : Analyse de la formation au poste de montage des ratières	181
3.	Annexe 3 : Questionnaire	182
4.	Annexe 4 : Questionnaire pré-passation	183
5.	Annexe 5 : Questionnaire post-passation	184
6.	Annexe 6 : Questionnaire pour évaluer l'impact de l'OIC sur la qualité de la collaboration	185
7.	Annexe 7 : fiche A10 : Recueil du besoin du client	186
8.	Annexe 8 : Scénario pour l'évaluation de la roadmap	187
9.	Annexe 9 : résultats évaluation de la roadmap	188

Chapitre I. Introduction générale

Chapitre I : Introduction générale

1. Contexte des travaux.....	10
a. L'entreprise : Stäubli.....	10
b. Le contexte industriel et la demande de Stäubli : Formation professionnel et industrie 4.0.....	11
c. Le laboratoire d'accueil.....	12
2. Positionnement, problématique, objectifs et contributions	13
3. Organisation du manuscrit.....	18

1. Contexte des travaux

Ces travaux de recherche ont été conduits dans le cadre d'une thèse de doctorat sous convention CIFRE (Convention Industrielles de Formation par la Recherche) contrat 20-086 au sein du pôle de recherche "Ergonomie et COncEption des Systèmes "(ERCOS) du laboratoire ELLIADD (Editions, Langages, Littératures, Informatiques, Arts, Didactiques, Discours, UR 4661) de l'Université de Bourgogne Franche-Comté (UBFC). Ces travaux ont été menés en collaboration et au sein de l'entreprise Stäubli dans le département Industrialisation. La répartition du temps de travail était de 75% en entreprise et 25% en laboratoire pour le suivi scientifique des travaux. Ces deux entités sont présentées dans les paragraphes suivants. Ce travail a bénéficié des moyens mis à disposition par le projet EquipEX+ CONTINUUM (ANR-21-ESRE-0030).

a. L'entreprise : Stäubli

Ce paragraphe a pour objectif de présenter le contexte industriel qui a encouragé l'entreprise Stäubli à initier ces travaux recherche.

Stäubli est un fournisseur mondial de solutions industrielles et mécatroniques, avec quatre divisions : Raccords Electriques, Raccords Fluides, Robots et Textile (Figure 1). Ils permettent à leurs clients d'augmenter leur productivité dans différents secteurs industriels. Fondée en 1892, l'entreprise n'était à l'origine qu'un petit atelier installé à Horgen dans le canton de Zurich. Aujourd'hui, c'est un groupe international basé à Pfäffikon, en Suisse, avec 5700 collaborateurs répartis dans 29 pays et sur quatre continents.

Stäubli met l'accent sur la différenciation et la croissance des activités à fort potentiel. L'excellence opérationnelle, la veille permanente du marché ainsi que les investissements stratégiques permettent à l'entreprise de se développer et d'occuper une position de leader dans les activités et les marchés concernés. L'innovation et le développement durable font partie de l'ADN de Stäubli : sa réussite reposera toujours sur des solutions industrielles et mécatroniques innovantes de haute qualité et sur la proximité avec les clients.



Figure 1 - Produits Stäubli : Raccords Electriques, Raccords Fluides, Robots et Textile (de gauche à droite)

b. Le contexte industriel et la demande de Stäubli : Formation professionnel et industrie 4.0

Dans le contexte de l'industrie 4.0 (Bauer *et al.*, 2018), les nouvelles technologies de production mettent en œuvre des moyens et des processus industriels en constante évolution. Vis-à-vis de ces évolutions, les industriels se doivent de penser aux moyens de formation physiques et virtuels les plus actuels et appropriés qui permettront à leurs employés de monter en compétences et de s'adapter ainsi à de nouveaux modes/moyens de production. On peut citer par exemple la filière automobile qui est engagée dans des Projets d'Investissements d'Avenir (PIA) qui visent à anticiper l'évolution des besoins en compétences et emplois en élaborant des parcours de formation adaptés aux mutations industrielles liés à l'industrie 4.0. En effet, cette filière a un besoin d'embauches évalué à 15000 personnes/an sur les métiers de la production et de la maintenance (ID-ACT and Abington, 2017). Généralisé à l'ensemble des secteurs industriels, ce besoin ne sera pas comblé par de nouvelles embauches uniquement **mais aussi par des formations pour du personnel déjà en poste.**

De plus, le contexte industriel est aussi fortement marqué par les problèmes de santé au travail à travers en particulier les Troubles Musculo-Squelettiques (TMS) qui sont les maladies professionnelles les plus répandues dans les pays de l'Ouest et qui touchent des millions de personnes en Europe (Bevan, 2015; CNAMTS: Cour des comptes, 2016; Perruccio *et al.*, 2017). Les TMS n'impactent pas seulement la qualité de vie des travailleurs (Bevan, 2015) mais elles peuvent aussi avoir des conséquences sociales et économiques (Rezagholi and Bantekas, 2015; Rezagholi, 2016; Zare *et al.*, 2016). Bien que les récents modèles étiologiques de risque de TMS montrent la contribution de facteurs physiques, organisationnels et psychosociaux ; les gestes et postures inconfortables et statiques restent les éléments les plus dangereux des tâches industrielles (Takala *et al.*, 2010; Hoe *et al.*, 2012; Daniels *et al.*, 2017; Sultan-Taïeb *et al.*, 2017; Moussavi, 2019). Ainsi pour réduire le nombre de TMS, des interventions ergonomiques sont réalisées avec pour objectif de réduire les tâches à risque en reconcevant par exemple les unités

de production utilisant de nouveaux moyens plus adaptés et en appliquant des changements organisationnels (Hoe *et al.*, 2012; Daniels *et al.*, 2017; Sultan-Taïeb *et al.*, 2017; Moussavi, 2019). La plupart des études montrent d'ailleurs que les facteurs clés de réussite sont l'intervention et la participation des travailleurs **et aussi la prise de conscience acquise au travers de la formation** (Rivilis *et al.*, 2008; Van Eerd *et al.*, 2010; Nastasia, Coutu and Tcaciuc, 2014; Aghilinejad *et al.*, 2015).

Nous sommes donc devant un contexte où les besoins en moyens de formation ont un intérêt stratégique majeur et double pour répondre (i) d'un point de vue humain à la préservation de la santé et du bien-être des opérateurs mais aussi (ii) d'un point de vue industriel à la préservation de la performance des entreprises et de leur pérennité.

Aujourd'hui l'entreprise Stäubli a décidé de maintenir son engagement dans ce contexte stratégique. Forte de son expérience, son souhait est de continuer d'innover au niveau de ses processus de production en tentant d'y intégrer certaines des nouvelles technologies de l'industrie 4.0. En parallèle, le service digital de Stäubli axe particulièrement ses efforts sur la formation de ses opérateurs aux tâches de montage de ses produits avec un souci permanent de la préservation de la santé de ses opérateurs mais aussi la sécurité (les accidents). Actuellement, chaque nouvel arrivant dans l'entreprise passe une formation/sensibilisation aux risques liés à l'entreprise. Concernant la formation à un poste de travail, l'opérateur est accompagné d'un formateur qui connaît le poste mobilisant ainsi deux ressources humaines. La formation est généralement réalisée par la pratique avec le formateur ou compagnon qui montre les « bons gestes » et qui s'appuie sur les fiches de poste. L'apprentissage se fait par une approche des bonnes pratiques. Les formations de ce type insistent principalement sur le mode opératoire à acquérir en édulcorant tout ou partie de l'aspect prévention des TMS. Cette partie est réalisée par ailleurs dans un autre contexte de formation. De plus, les produits fabriqués par l'entreprise sont complexes et peuvent donc demander jusqu'à 6 semaines de formation. Enfin, ces formations mobilisent souvent un poste de travail qui n'est plus utilisable pour la production.

Les objectifs initiaux du service digital sont donc de (i) pouvoir former ses opérateurs plus rapidement, (ii) de manière efficiente et tout en préservant leur santé, (iii) d'intégrer plus facilement de nouveaux opérateurs et (iv) sans impacter de façon négative l'activité de production.

Pour répondre à cet objectif, le service digital a choisi de profiter des technologies immersives (TI) telles que la Réalité Virtuelle (RV), la Réalité Augmentée (RA) ou encore d'autres technologies de Réalité Mixte (RM) (cf. Figure 4 p.23). Nous définirons ces termes par la suite du document (Chapitre II : Etat de l'art p.22).

c. Le laboratoire d'accueil

Ces travaux de recherche ont été conduits à l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM) au sein du Pôle de recherche Ergonomie et COncption des Systèmes (ERCOS) du

laboratoire ELLIADD (UR 4661). Les recherches conduites au sein de ce pôle s'articulent autour d'un seul et même axe de recherche intitulé « **Développement de connaissance, de méthodes et d'outils pour une conception de produits, de systèmes techniques centrés sur la Personne** » et se déclinent à travers deux programmes de recherche complémentaires, à savoir :

- Programme 1 : « Connaissances sur le fonctionnement humain pour une conception respectueuse de la santé et des caractéristiques de la Personne ».
- Programme 2 : « La conception collaborative du système Produit, Usage, Service innovants ».

Notre recherche est directement liée à ces programmes, ERCOS ayant des compétences scientifiques reconnues dans le domaine cité. On peut ainsi évoquer la conception centrée-utilisateur (CCU) ou encore l'intégration du facteur humain à travers l'ergonomie en conception (Sagot, 1999; Sagot and Gomes, 2003; Sagot, Gouin and Gomes, 2003; Mahdjoub, 2007; Mahdjoub *et al.*, 2008; Al Khatib, 2015). Le domaine des méthodologies de conception collaboratives et multidisciplinaires est aussi un axe fort du pôle ERCOS ((Bennes, Bazzaro and Sagot, 2011; Bennes, 2013; Fleche *et al.*, 2014, 2017; Al Khatib, 2015; Fleche, 2015; Khatib, 2015). Cette expertise est complétée par des travaux dans le domaine du développement d'outils de réalité virtuelle (Bennes, Bazzaro and Sagot, 2011; Bennes, 2013). Plus récemment encore, des travaux ont été réalisés sur l'apport de la RV sur l'ergonomie des tâches de maintenance dans le domaine aéronautique (Bernard *et al.*, 2019c, 2019b, 2019a). Ces travaux fournissent des informations précieuses et reconnues sur la manière d'utiliser la RV dans un contexte industriel avec et sur les contraintes associées. Plus globalement, ERCOS a aussi une expertise dans la conception ergonomique de situations de travail respectueuses de la santé des personnes (Akçayır and Akçayır, 2017; Zare *et al.*, 2017; Arnaldi *et al.*, 2018; Pettey, 2018; Norval *et al.*, 2019). Du point de vue de la formation à l'aide de TI, l'équipe ERCOS possède une expérience à travers les travaux de (Sisto *et al.*, 2018; Zare, 2019). Ces travaux ont notamment permis de concevoir un serious game pour une prévention durable des TMS dans le domaine industriel (automobile et horloger) et d'en étudier l'utilisabilité. Enfin, nous pouvons citer un projet de recherche touchant la conception de supports de moyens de formation immersifs au métier de la maintenance robotique (Bert *et al.*, 2021). Ce projet est réalisé en partenariat avec le pôle de compétitivité véhicule du futur et un CFAi situé à Exincourt (25).

2. Positionnement, problématique, objectifs et contributions

Malgré une maturité des TI et des applications concrètes industrielles de celles-ci (Gartner, 2016), il y a encore des freins à leur pleine mise en production dans le domaine industriel en général et de la formation professionnelle en particulier.

L'un des freins les plus importants est le manque d'une bonne expérience utilisateur (UX) lors de l'usage de ces moyens (Akçayır and Akçayır, 2017; Arnaldi *et al.*, 2018; Pettey, 2018). L'UX couvre tous les aspects liés à la manière dont les gens utilisent un produit interactif : la sensation du produit dans leurs mains, la compréhension de son fonctionnement, le ressenti durant l'usage, l'accomplissement de leurs buts mais également son adéquation avec le contexte global dans lequel ils l'utilisent (Alben, 1996). L'UX s'entend donc comme le résultat de l'interaction entre l'utilisateur, le système et le contexte. Nous retenons ici la définition de l'UX de (Hassenzahl and Tractinsky, 2006) qui la définissent comme « une conséquence de l'état interne

de l'utilisateur (prédispositions, attentes, besoins ; motivations, humeur etc.), des caractéristiques du système conçu (complexité, but, utilisabilité, fonctionnalités etc.) et du contexte dans lequel l'interaction prend place (cadre organisationnel/social, sens de l'activité, volonté d'usage, etc.) (traduction tirée de Lallemand et Gronier (2018)).

Le problème d'expérience utilisateur peut être décliné selon diverses dimensions générales comme l'accessibilité, l'utilisabilité, l'émotionnalité et l'influçabilité (Brangier and Bastien, 2015; Akçayır and Akçayır, 2017). L'utilisabilité des systèmes est très souvent citée comme une limite aux application immersives. Pour illustrer cette difficulté, prenons l'exemple de la RA, (Akçayır and Akçayır, 2017) dans leur état de la littérature ont montré que les principaux défis pour son utilisation en milieu éducatif sont les difficultés d'usage pour les apprenants. Il arrive souvent que l'expérience d'utilisation comporte des limites provoquant des problèmes d'utilisabilité. Souvent, le matériel et les logiciels impressionnants peuvent aussi être trop novateurs pour permettre aux apprenants de se concentrer sur le contenu plutôt que sur l'application en elle-même (Wrzesien and Alcañiz Raya, 2010). On rencontre ainsi des moyens de formation peut-être très pertinents du point de vue technique mais avec une utilisabilité médiocre dû à un manque de prise en compte des futurs utilisateurs lors de leur conception. Il en résulte des applications inadaptées aux utilisateurs pouvant même provoquer une surcharge cognitive (Akçayır and Akçayır, 2017) et qui sont très vite abandonnées. Une deuxième dimension liée à celle d'acceptabilité est celle de l'utilité qui est très souvent mise de côté au profit de l'utilisabilité dans le contexte de l'ergonomie informatique (Loup-Escande, Burkhardt and Richir, 2013). Cette notion d'utilité est même première à la notion d'utilisabilité pour certains auteurs selon (Loup-Escande, Burkhardt and Richir, 2013). Même parfaitement utilisable, un objet inutile peut difficilement être qualifié d'ergonomique et amène aux observations d'inadéquation entre ce qu'apporte l'objet et ce dont l'utilisateur a besoin (Blandford *et al.*, 2008; Loup-Escande, Burkhardt and Richir, 2013).

Devant ces problèmes d'UX qui touchent les environnement virtuels (matériels et logiciels) (Burkhardt, 2003), **il est souvent fait état d'un manque de démarche de CCU (Frejus *et al.*, 1997) ou à une non-prise en compte des démarches existantes.** La conception centrée-utilisateur est un des principes fondamentaux de l'UX (Lallemand, Gronier and Dugué, 2018). Elle consiste à intégrer les utilisateurs au plus tôt dans le processus de conception afin de concevoir *pour eux* et *avec eux* (Norman and Draper, 1986; Sagot, 1999; 'ISO 13407:1999', 1999). De plus, les travaux suggérant l'utilisation de la conception centrée-utilisateur en réalité virtuelle (Loup-Escande, É. Jamet, *et al.*, 2015) n'impliquent pas nécessairement des utilisateurs finaux mais plutôt des sujets "tout venant" pas forcément non représentatifs des utilisateurs finaux réels (Loup-Escande, É. Jamet, *et al.*, 2015). Enfin, de notre expérience, les formateurs rencontrent souvent des difficultés à expliquer aux développeurs d'applications leurs besoins. Cela peut être lié à un manque d'expérience des TI ou une mauvaise compréhension entre formateurs et développeurs.

La prise en compte d'une méthode de conception collaborative centrée-utilisateur permettrait de pallier ce problème de compréhension.

De plus, il y a le manque de recul concernant les populations d'apprenants adultes que ce soit dans un contexte industriel ou non. En effet, peu de travaux proposent d'étudier la formation des adultes en milieu professionnel à l'aide de TI. Dans leur analyse de la littérature, (Akçayır and

Akçayır, 2017) ont observé que sur les 68 cas étudiés seulement 7% des apprenants concernés étaient des adultes. De plus, même si de nombreuses études documentent les apports au niveau de la qualité de l'apprentissage dans des études contrôlées, elles sont souvent réalisées dans des contextes d'enseignement académique et rares sont les exemples d'études menés dans des cas concrets industriels qui sont très contraints en termes de temps notamment (Akçayır and Akçayır, 2017). Cela ne permet donc pas de capitaliser sur des connaissances nécessaires pour concevoir des systèmes de formation immersifs adaptés à cette population d'utilisateurs.

Enfin, les populations d'utilisateurs qui sont confrontées à ces problèmes peuvent avoir plus ou moins d'appétence pour les nouvelles technologies. Cela ne touche pas que la population des « digital immigrants » (la génération née avant 1980) (Prensky Marc, 2001). En effet, même si certaines générations ont toujours vécu entourées de nouvelles technologies comme les « digital natives » (Prensky Marc, 2001) (la génération née après 1980), cela n'implique pas forcément qu'elles seront compétentes pour les utiliser dans des contextes d'éducation, et la RV ne fait pas exception (Margaryan, Littlejohn and Vojt, 2011; Martín-Gutiérrez, 2017). Par extension, nous pouvons appliquer ce raisonnement au contexte de formation professionnelle et des différentes TI. Cela pose une nouvelle fois la question de la conception centrée-utilisateur des moyens de formation et de l'adéquation avec le profil des utilisateurs. Un autre enjeu, lié au contexte générationnel, est que souvent les formateurs de la génération dite des « digital immigrants » doivent/peuvent être amenés à former des apprenants de la génération des « digital natives ». Ils doivent enseigner à des populations qui n'ont pas du tout le même langage, la même culture, les mêmes besoins (Prensky Marc, 2001).

Pour sa part, Stäubli a expérimenté certaines de ces limites durant des essais d'outils de RV pour la formation de son personnel. Elle a mené des comparatifs technologiques et testé deux solutions de RV pour une formation « extinction incendie » et deux solutions de RV pour les risques routiers. Un bref retour d'expérience, qui mériterait d'être complété par une analyse plus approfondie, a permis de mettre en évidence certaines limites. C'est tout d'abord un problème d'utilisabilité des outils proposés aux opérateurs qui ne connaissent pas ces technologies ou qui n'en sont pas des usagers habituels. De plus, certains opérateurs se sont montrés réticents à utiliser ces technologies par peur et ont rencontré des difficultés à retenir les commandes pour interagir dans l'environnement 3D. Par exemple pour saisir un objet, on demande souvent de le pointer et d'appuyer sur le bouton d'une manette. Mais l'utilisateur oublie souvent sur quel bouton il doit appuyer. Les commandes peuvent aussi être complexes à utiliser car inadaptées à leur profil. Cela a illustré le problème de la conception de l'usage associé au moyen de formation et de son adéquation avec le besoin et le profil des utilisateurs confirmant le besoin d'une conception centrée sur les utilisateurs. Il s'agit ici notamment des modalités d'interactions dans l'environnement virtuel qui n'ont peut-être pas été conçues avec suffisamment de focus sur les utilisateurs finaux. De plus, souvent ce genre de formations est développé par des éditeurs dans un contexte générique pour pouvoir être réutilisées par d'autres clients. Et malheureusement, elles ne sont donc pas parfaitement adaptées aux caractéristiques des utilisateurs finaux. Ces problèmes d'utilisabilité ou encore d'ergonomie générale observés lors des tests auraient pu être réduits en intégrant les utilisateurs au plus tôt dans la conception en les faisant participer plus pleinement.

Pour résumer, les difficultés rencontrées par Stäubli concernent l'expérience utilisateur et plus précisément le manque de prise en compte et de participation des futurs utilisateurs (apprenant et formateur) dans la conception des moyens de formation.

Partant de cette situation, il apparaît pour l'entreprise Stäubli que le succès de l'intégration de moyens de formation immersifs passera par la mise en œuvre d'une approche multidimensionnelle et collaborative de leur conception visant à concevoir avec et pour les utilisateurs (formateurs et apprenants).

En effet, de nombreux métiers et experts mais aussi de nombreuses disciplines interviennent durant ce processus de conception et participent à leur manière à l'intégration des utilisateurs dans leurs activités de conception. On peut citer par exemple les concepteurs de projets en réalité virtuelle, les ingénieurs en réalité virtuelle mais aussi des métiers plus liés à l'UX comme les ergonomes ou des UX designers en général et enfin les métiers de la formation. Notons que, des supports méthodologiques sont aussi proposés par des domaines de recherche divers comme l'informatique, l'ergonomie, l'UX design ou encore la didactique professionnelle. Cependant, ces métiers et ces méthodes sont encore aujourd'hui trop cloisonnés et pas assez collaboratifs comme l'expliquent (Richir *et al.*, 2015). De plus, lors du transfert aux entreprises des connaissances acquises par la recherche académique, les laboratoires sont souvent limités par un manque de connaissance des processus d'intégration à l'échelle industrielle (Richir *et al.*, 2015). Une approche multidimensionnelle unifiant les méthodes des divers disciplines concernées permettrait à partir d'une discipline ou d'un métier donné(e) de voir ce que les autres disciplines ou métiers connexes apportent en plus en termes de connaissances et de manière d'appréhender la conception de ce type de système. Il en résulterait un croisement fertile à la fois des méthodologies de chacun et par conséquent une compréhension plus complète. Cela permettrait d'améliorer la qualité de collaboration entre les acteurs de la conception et donc d'apporter de bien meilleurs résultats quant à la qualité de l'UX des systèmes de formation qui seront conçus.

La **problématique** résultante est donc d'étudier comment faire collaborer l'ensemble de ces acteurs métiers afin de concevoir *pour* et *avec* les futurs utilisateurs (apprenants et formateurs) des moyens de formations basés sur les TI de la manière la plus adaptée que possible aux contraintes industrielles.

Pour étudier notre problématique et apporter une réponse, nous avons divisé notre démarche en quatre objectifs majeurs. Les objectifs et les contributions associées sont présentés dans les paragraphes suivants :

Le premier objectif de nos travaux est de (i) mieux comprendre l'organisation et les pratiques concernant la formation professionnelle au sein de l'entreprise Stäubli, notre entreprise pilote, et (ii) de connaître le positionnement de l'entreprise et de ses services vis-à-vis des TI. En effet, cela est un prérequis afin de proposer des solutions opérationnelles pour mieux intégrer les TI dans leurs formations. Également, il conviendra d'identifier les opportunités et freins liés aux TI. **Cela sera réalisé par une première étude qualifiée d'exploratoire** (cf. Chapitre III : Etude exploratoire p.40).

La contribution associée est :

C1 : Au sein de l'entreprise Stäubli, analyse et compréhension, (i) des pratiques mises en place vis-à-vis des formations professionnelles et (ii) des opportunités et freins potentiels liés aux TI.

Le deuxième objectif, tenant compte des résultats précédents, est la **proposition** d'un modèle de processus de conception collaborative de Formation Professionnelle Immersive (FPI) centrée sur les utilisateurs et **sa validation** via son application à des projets de formation pilote de l'entreprise d'accueil. Cela sera réalisé sur la base d'un état de l'art, des méthodes, outils et moyens existants. **Cet objectif sera traité via plusieurs projets menés au sein de l'entreprise pilote et répartis sur les différents chapitres présentant les expérimentations associées** (cf. Chapitre IV : Expérimentation initiale : proposition d'un premier modèle de conception de FPI p.55 et Chapitre V : Série d'expérimentations : Proposition d'un deuxième modèle de conception de FPI p.84).

La contribution associée est :

C2 : Proposition et mise à l'épreuve d'une démarche permettant la conception collaborative de formation professionnelle immersive centrée sur les utilisateurs.

Notre troisième objectif est d'étudier les phases de collaboration multidisciplinaire du modèle de notre processus de conception proposé. L'objectif étant ici de favoriser et d'améliorer la qualité de la collaboration entre les acteurs métiers lors des phases de convergence. Cela pourra se faire en s'appuyant sur une approche par Objets Intermédiaire de Conception (OIC). **Ce travail sera conduit également sur des projets menés au sein de l'entreprise pilote** (cf. Chapitre V : Série d'expérimentations : Proposition d'un deuxième modèle de conception de FPI p.84).

La contribution associée est :

C3 : Analyse des phases de collaboration et plus particulièrement des phases de convergence à l'aide d'OIC lors du processus de conception.

Enfin, sur la base de ces 3 premières contributions, notre quatrième objectif consistera à valider une démarche de conception applicable par l'entreprise pilote. Il s'agira de proposer une mise en œuvre opérationnelle avec une roadmap associée à des méthodes et outils supports (cf. Chapitre VI : Proposition d'un processus de conception opérationnel de FPI .134)

La contribution associée est :

C4 : Proposition d'une démarche de conception validée et applicable par l'entreprise Stäubli.

Pour résumer, notre travail de recherche porte sur quatre contributions principales (cf. Figure 2) :

- La première contribution est la description des pratiques de formation professionnelles déjà mises en place au sein de Stäubli et des freins et opportunités liées aux TI. Cette contribution permet d'avoir un état des lieux des pratiques de l'entreprise pilote.
- Coupler notre première contribution à un état de l'art scientifique concernant la conception de formation professionnelle immersive permet de faire une proposition de démarche de conception collaborative qui correspond à notre 2^{ème} contribution. Cette démarche sera mise à l'épreuve dans des cas concrets dans l'entreprise pilote.
- La troisième contribution alimentée également par la 2^{ème} portera sur l'analyse des phases de collaboration de notre modèle de processus de conception.
- Enfin, la quatrième contribution qui sera alimentée directement par les deux précédentes et indirectement par la première consiste en une proposition de démarche de conception opérationnelle applicable par l'entreprise Stäubli.

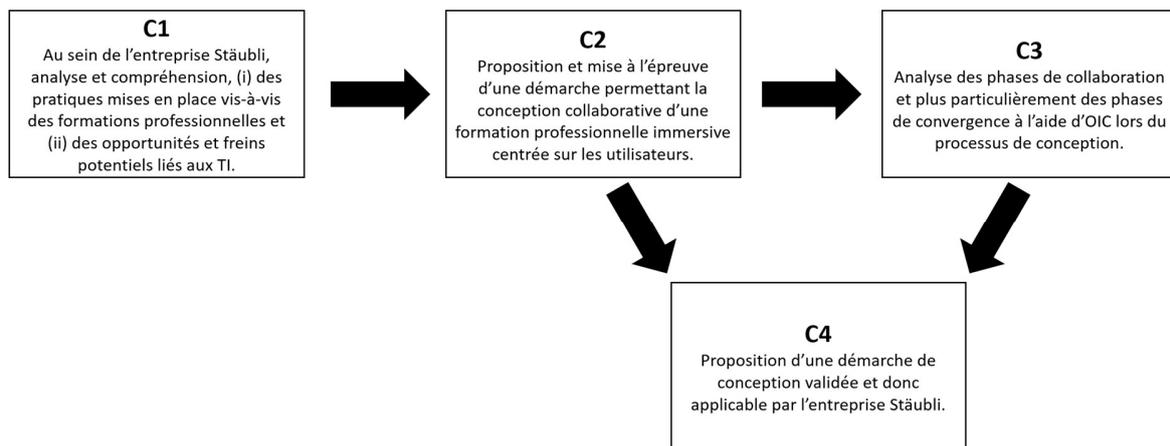


Figure 2 - Lien entre les contributions

3. Organisation du manuscrit

Notre manuscrit se compose de **7 chapitres**. Nous présentons dans cette section leur organisation (cf. Figure 3).

Le « **Chapitre I : Introduction générale** » nous permet de présenter le contexte général de notre travail de recherche. Nous présentons également le positionnement et la problématique associée. Cela nous amènera aussi à introduire les objectifs et contributions de nos travaux.

Dans le « **Chapitre II : Etat de l'art** », nous définissons le domaine de la formation professionnelle et les applications associées grâce aux TI. Nous évoquons également les modèles de conception de FPI avec des focus sur l'informatique, l'ergonomie ou encore la pédagogie. Nous traitons également des aspects de collaboration en conception de FPI afin de mettre en évidence certaines limites. En s'appuyant sur cet état de l'art et les limites des travaux actuels, nous

présentons notre problématique et les hypothèses de recherche associées. Enfin, nous détaillons notre méthodologie de recherche.

Dans le « **Chapitre III : Etude exploratoire** » nous proposons une analyse (i) des pratiques mises en place vis-à-vis des formations professionnelles et (ii) des opportunités et freins potentiels liés aux TI. Nous discutons les résultats associés via une définition des besoins de l'entreprise pilote (**Contribution 1**).

Dans le « **Chapitre IV : Expérimentation initiale : proposition d'un premier modèle de conception de FPI** » nous présentons un premier modèle de processus de conception collaborative de FPI basé sur notre état de l'art (**Contribution 2**). Nous le testons à travers une première expérimentation dans le cadre d'un projet de formation au montage des ratières pour la division Textile. Nous terminons ce chapitre par un bilan et des préconisations d'évolution vis-à-vis de notre modèle de conception.

Dans le « **Chapitre V : Série d'expérimentations : Proposition d'un deuxième modèle de conception de FPI** » nous proposons une deuxième version de notre modèle conception collaborative de FPI. Nous le testons via une série de 3 expérimentations liées à des projets de formation faisant varier certaines conditions de réalisation (**Contribution 2**). Il s'agit d'une formation à distance, d'une formation pour sensibiliser aux risques dans un atelier de montage mécanique et la reconception de la formation du chapitre IV sur le montage des ratières. Le projet de sensibilisation aux risques nous permet également d'étudier une phase de collaboration durant la génération de scénarios pédagogiques (**Contribution 3**). Une synthèse de ce chapitre nous permet de générer une nouvelle série de préconisations pour faire évoluer notre processus de conception.

Dans le « **Chapitre VI : Proposition d'un processus de conception opérationnel de FPI** » nous présentons notre troisième et dernière version de notre modèle de processus de conception collaborative de FPI (**Contribution 2**). Sur cette base, nous proposons une vue opérationnelle pour l'entreprise pilote de notre processus via une roadmap (**Contribution 4**). Nous la testons avec un panel de l'entreprise pilote afin de valider son utilité, utilisabilité et acceptabilité projetée dans le cadre de scénarios de projets de conception de FPI.

Dans le « **Chapitre VII : Conclusion et perspectives** », nous faisons une synthèse de l'ensemble de nos résultats. Nous proposons également des perspectives deux axes (i) celui lié au processus de conception de FPI et (ii) celui plus stratégique lié aux actions à mener au sein de l'entreprise pilote pour continuer à développer son appropriation des TI pour la formation.

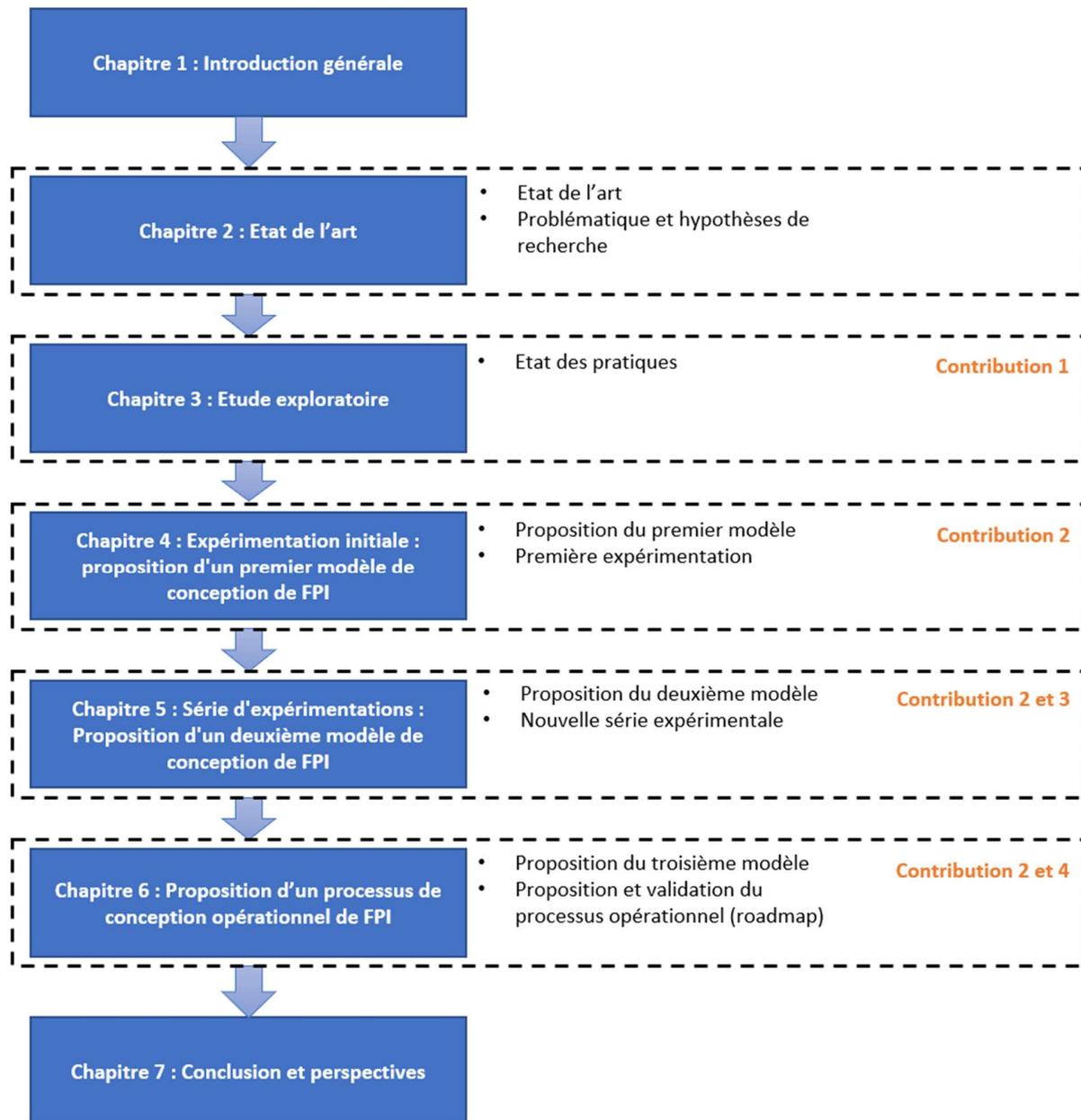


Figure 3 - Représentation schématique de l'organisation de notre mémoire de thèse

Chapitre II. Etat de l'art

Chapitre II : Etat de l'art

1. Introduction	22
2. La formation professionnelle et les Technologies immersives	22
3. La conception d'une formation professionnelle immersive	25
a. D'un point de vue informatique	26
b. D'un point de vue de l'ergonomie	28
c. D'un point de vue de la pédagogie	31
d. Conception collaborative et ses limites	32
4. Problématique scientifique et hypothèses de recherche	35
5. Méthodologie de recherche et ma position dans l'entreprise	37

1. Introduction

Cette partie présentera tout d'abord le domaine de la formation professionnelle ainsi que l'apport des TI à cette activité. Ensuite, nous présentons une analyse critique des travaux de la littérature scientifique concernant la conception de systèmes de formation à base de technologies immersives. Cette analyse des travaux de la littérature permettra ensuite d'introduire notre problématique de thèse et les deux hypothèses de recherche associées. Nous finissons avec la présentation de notre méthodologie de recherche en lien avec notre positionnement au sein de l'entreprise pilote.

2. La formation professionnelle et les Technologies immersives

La formation professionnelle est un processus éducatif conçu pour préparer les individus à occuper des emplois spécifiques dans des secteurs professionnels et techniques. Elle vise à fournir aux apprenants les compétences, les connaissances et les qualifications nécessaires pour réussir dans un domaine professionnel particulier. La formation professionnelle peut prendre de nombreuses formes, notamment des programmes de formation en classe, des stages, des apprentissages en entreprise, des cours en ligne et plus encore. La formation professionnelle est importante pour une entreprise pour assurer le maintien de ces compétences. Selon l'article L6311-1 du Code du travail : « La formation professionnelle tout au long de la vie constitue une obligation nationale. Elle vise à permettre à chaque personne, indépendamment de son statut, d'acquérir et d'actualiser des connaissances et des compétences favorisant son évolution professionnelle, ainsi que de progresser d'au moins un niveau de qualification au cours de sa vie professionnelle. Elle constitue un élément déterminant de sécurisation des parcours professionnels et de la promotion des salariés. »

Aujourd'hui, le monde industriel est en train de passer un cap au niveau des modalités de formation en intégrant des technologies immersives comme la réalité virtuelle ou la réalité augmentée. La réalité virtuelle est un « domaine scientifique et technique exploitant l'informatique et des interfaces comportementales en vue de simuler dans un monde virtuel, le comportement d'entités 3D, qui sont en interaction en temps réel entre elles et avec un ou des utilisateurs en immersion pseudo-naturelle par l'intermédiaire de canaux sensori-moteurs » (Fuchs *et al.*, 2006).

Elle a pour objectif « de permettre à une personne (ou à plusieurs) une activité sensori-motrice et cognitive dans un monde artificiel, créé numériquement, qui peut être imaginaire, symbolique ou une simulation de certains aspects du monde réel » (Fuchs *et al.*, 2006). Depuis quelques années, on rencontre même des environnements réels filmés par caméra 360°. La réalité augmentée quant à elle correspond aux systèmes interactifs qui permettent de présenter en temps réel à l'utilisateur des entités virtuelles et des éléments de l'environnement réel (Caudell and Mizell, 1992; Azuma, 1997). C'est l'ensemble des applications qui vérifient les 3 propriétés suivantes (i) la combinaison du réel et du virtuel, (ii) l'interaction en temps réel et (iii) l'intégration du réel et virtuel. La RA a pour objectif de compléter la réalité plutôt que de la remplacer comme la RV. Elle se situe entre l'espace du tout virtuel et l'espace du tout physique sur le continuum Réalité-Virtualité formalisé par Milgram et al. (Milgram and Kishino, 1994). Ce continuum permet aussi d'introduire la RM qui est une combinaison d'objets du monde réel et d'objets virtuels (cf. Figure 4). Nous utiliserons le terme eXtended Reality (XR) pour faire référence à toutes les technologies (RV, AR, RM).

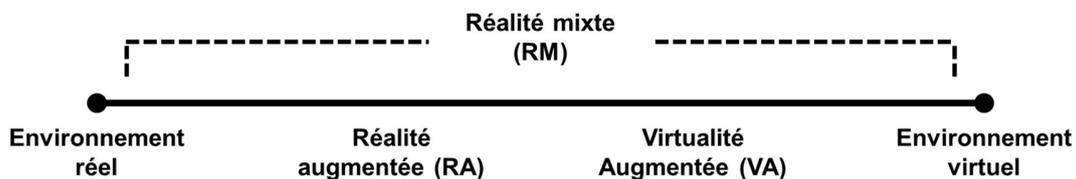


Figure 4 Continuum de réalité virtualité propose par Milgram et Kishino (Milgram et al., 1994)

L'ensemble de ces technologies connaît depuis plusieurs années une forte expansion. En effet, l'entreprise américaine de conseil Gartner a positionné les TI à la 6^{ème} place de son classement des 10 technologies stratégiques pour 2019 (Gartner, 2018). Toujours selon Gartner, en 2022, 70% des entreprises devaient avoir expérimenté des TI avec des usages destinés aux consommateurs et aux entreprises. A cette même période, 25% devaient les avoir déployées en production. En 2015, Gartner prévoyait que la RV atteindrait son plateau de productivité (état de la technologie rodé qui permet son application concrète) dans les 5 à 10 années. En 2018, Gartner prévoyait l'atteinte du même plateau pour la RA et la RM sur la même durée.

Aujourd'hui, l'ensemble de ces TI est situé dans une phase qui reflète la croissance et la diversité de leurs applications mais aussi un développement progressif et solide du marché. Pour illustrer cette croissance, Greenlight Insights estimait que les ventes de casques de RV pour la formation devaient atteindre 2,2 milliards de dollars en 2022 (Schoolov, 2019). En complément, nous pouvons observer (i) la production de casques qui a doublé en 2021 pour atteindre 11 millions d'unités et (ii) la volonté de la Chine d'expédier 26 millions de casques d'ici 2026 (selon le cabinet IDC).

Enfin, ces technologies sont aujourd'hui utilisées dans de nombreux domaines allant des applications grand public, industrielles, médicales ou encore militaires par exemple. Dans le domaine industriel, la RV et RA sont utilisées en bureau d'études (en prolongement de la CAO 3D pour des activités de revue de projet immersive pour tester tout ou partie du cycle de vie du produit), en communication-marketing (en tant qu'outil d'aide à la vente et à la valorisation des produits et services de l'entreprise) (Arnaldi *et al.*, 2018).

Dans le domaine de la formation et de l'ergonomie, il est accepté depuis de nombreuses années que les TI ont un réel intérêt (Burkhardt, 2003; Arnaldi *et al.*, 2018). Appliquées à la formation, elles permettent de réaliser des tâches particulières sans danger, de réaliser des scénarios impossibles à reproduire dans la réalité (accidents), de simuler des scénarios et des conditions rares (incidents techniques, etc.), de se placer dans des situations de stress, d'être indépendant du temps et autres nécessités (disponibilités des installations par exemple) et d'utiliser le même équipement pour d'autres formations (Arnaldi *et al.*, 2018; Hireche *et al.*, 2023; Thomann *et al.*, 2023). Pour l'apprenant, les avantages sont nombreux :

- Contrôler la complexité des situations
- Reproduire les situations à l'identique
- Décomposer les apprentissages
- Modifier la structure temporelle
- Modifier la topologie spatiale et son échelle
- Réifier : fournir une représentation de données abstraites pour la voir de manière matérielle ou concrète
- Montrer des phénomènes invisibles à l'œil nu
- Fournir des informations qui ne sont pas disponibles dans le monde réel.

Les attentes pour l'apprenant sont par exemple de pouvoir expérimenter et évoluer à son rythme, s'auto-évaluer et apprendre à partir de ses erreurs.

Les attentes pour le formateur/enseignant sont de :

- Concrétiser des enseignements abstraits,
- Faire vivre des expériences crédibles,
- Enregistrer l'activité des apprenants (traces, performances),
- Pouvoir revoir/discuter/comprendre/rejouer l'activité,
- Concevoir de lui-même son application d'enseignement : créer des activités virtuelles, choisir des scénarios ou encore scénariser les sessions d'apprentissage

Les applications potentielles sont nombreuses comme l'acquisition de gestes métier ou de gestes techniques, la formation à des systèmes et engins complexes, la formation à des procédures de sécurité ou des activités professionnelles par mise en situation etc. On peut citer de nombreux exemples dont celui de DHL qui a développé une formation immersive à la santé et à la sécurité au travail ('Tag Website', 2019). Ce module de formation permet de jouer des scénarios très réalistes simulant des situations de danger dans un environnement 360°. Les résultats ont montré une baisse du taux d'absence résultant de blessures. Magna's Automotive Part utilise des casques Samsung gear VR pour former les opérateurs à leurs nouveaux postes de travail (*Why Microsoft Uses Virtual Reality Headsets To Train Workers*, 2019) . Pacific Gas and Electric utilise de la RV 3D pour former ses employés au montage de valves. Tyson's food a constaté une chute de 20% des blessures et maladies professionnelles par l'utilisation de modules en RV de formation à la sécurité et à la sensibilisation aux risques. Walmart forme ses employés dans ces 4700 magasins aux Etats-Unis à l'aide de RV. Cela représente plus d'un million d'employés formés à l'aide de 17000 casques. Cela permet notamment à Walmart d'être sûr que tous les magasins ont les mêmes conditions de formation.

Si l'on se place du point de vue des apprenants, les gains apportés par les TI sont renseignés dans la littérature. Ainsi, Pérez-López and Contero (Pérez-López and Contero, 2013) ont montré que l'utilisation d'un système de RA permet une augmentation de rétention de connaissances par

rapport à une modalité d'enseignement classique. Cela a été testé sur une population d'élèves en école élémentaire sur l'apprentissage du système digestif et de la digestion humaine. Sur une autre étude, Lin et al. (Lin, Chen and Chang, 2015) montrent que la RA permet aux étudiants possédant de faibles capacités spatiales d'améliorer significativement leur performance dans la réalisation d'une tâche de dessin d'un solide géométrique (par rapport à une condition traditionnelle de dessin sur papier) sans que le niveau de charge cognitive augmente de manière significative. Plus globalement ; nous pouvons aussi citer deux revues systématiques de la littérature faisant état respectivement de 68 et 89 articles (Santos *et al.*, 2014) et (Akçayır and Akçayır, 2017) qui listent par exemple les avantages de la RA concernant les résultats d'apprentissage :

- L'amélioration des résultats d'apprentissage,
- La motivation pour l'apprentissage,
- La facilité de compréhension,
- Une attitude positive
- La satisfaction
- Une diminution de la charge mentale
- La confiance en soi

Toujours selon (Akçayır and Akçayır, 2017), concernant les contributions pédagogiques, les avantages principaux de la RA sont d'améliorer le plaisir et le niveau d'engagement des apprenants. La RA rend des enseignements considérés comme « ennuyeux » plus divertissants. Elle permet aussi à l'enseignant de donner des responsabilités aux apprenants. De notre expérience, les apports cités ici pour la RA peuvent être retrouvés, dans une certaine mesure, pour les autres TI.

Enfin du point de vue de la formation dans un contexte de prévention aux maladies professionnelles et à la sécurité, les TI sont un réel atout par rapport aux modalités classiques de formation (cours, formation sur site, posters, brochures...) qui ne sont pas suffisantes pour changer les comportements des opérateurs (Rivillis *et al.*, 2008; Yu *et al.*, 2013; Hogan, Greiner and O'Sullivan, 2014). Des Serious Game (SG) impliquant des TI sont ainsi utilisés dans le domaine de la santé et de la sécurité (Li *et al.*, 2018; Lu and Kharrazi, 2018; Pront *et al.*, 2018). Les SG peuvent être définis comme « une application informatique, dont l'intention initiale est de combiner, avec cohérence, à la fois des aspects sérieux (serious) tels, de manière non exhaustive et non exclusive, l'enseignement, l'apprentissage, la communication ou encore l'information, avec des ressorts ludiques issus du jeu vidéo (game). Une telle association, qui s'opère par l'implémentation d'un scénario utilitaire, qui sur le plan informatique correspondrait à implémenter un habillage (sonore et graphique), une histoire et des règles idoines, a donc pour but de s'écarter du simple divertissement » (Alvarez and Djaouti, 2011). On notera enfin que tout récemment des SG ont été mis en œuvre au sein de notre équipe de recherche ERCOS en collaboration avec l'équipe « Image Processing and Computer Graphics Group » de HE-Arc (HES-SO, Neuchâtel, Switzerland), pour des objectifs de prévention durable des TMS (Sisto *et al.*, 2018).

3. La conception d'une formation professionnelle immersive

La conception d'une formation professionnelle est un processus qui vise à créer un programme d'apprentissage structuré et efficace pour aider les apprenants à acquérir les compétences et les connaissances nécessaires pour réussir dans un domaine professionnel spécifique. La

conception d'une formation ou ingénierie de formation est, selon (Pastré, Mayen and Vergnaud, 2006), un champ de pratiques qui consiste à construire des dispositifs de formation correspondant à des besoins identifiés pour un public donné dans le cadre de son lieu de travail. Toujours selon Pastré, elle se concrétise dans deux pratiques : **l'analyse de besoins et la construction de dispositifs de formation**.

La création d'une formation professionnelle est un processus collaboratif qui peut impliquer plusieurs expertises :

- L'ergonomie pour réaliser l'analyse des besoins mais également une analyse du travail afin de prendre en compte les particularités de la tâche à effectuer et de l'activité à mettre en œuvre.
- La pédagogie pour identifier les besoins de formation, définir les objectifs d'apprentissage, concevoir le plan de formation et le scénario pédagogique.
- L'informatique en fonction du contenu et des modalités d'apprentissage qui peuvent être retenues : les supports à utiliser peuvent aller d'une simple présentation à des modules en ligne, en e-learning, des SG ainsi que l'utilisation de technologies immersives comme la RV et RA.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons aux diverses manières de concevoir le contenu d'une formation professionnelle immersive selon différents points de vue.

a. D'un point de vue informatique

Avec un point de vue principalement orienté sur l'informatique, diverses propositions de méthodes de conception de systèmes impliquant de la RV existent dans la littérature. On peut citer les travaux de Fuchs en 2006 (Fuchs *et al.*, 2006) et la méthodologie 3I2 pour « Immersion et Interaction ». Cette méthode anthropocentrée a pour objectif de guider la conception et le développement d'applications immersives afin de prendre en compte les capacités cognitives et sensori-motrices de l'utilisateur.

Lourdeaux, en 2001 (Lourdeaux, 2001), propose une démarche de conception d'environnement virtuel (EV) basée sur les définitions de notions d'interfaçages qui se compose de 6 étapes itératives qui sont (i) Spécifications des objectifs, (ii) spécifications des primitives comportementales virtuelle (PCV), (iii) spécification des représentations mentales, (iv) spécification des interfaces comportementales, (v) spécification des dialogues d'utilisation des interfaces, (vi) évaluation (cf. Figure 5).

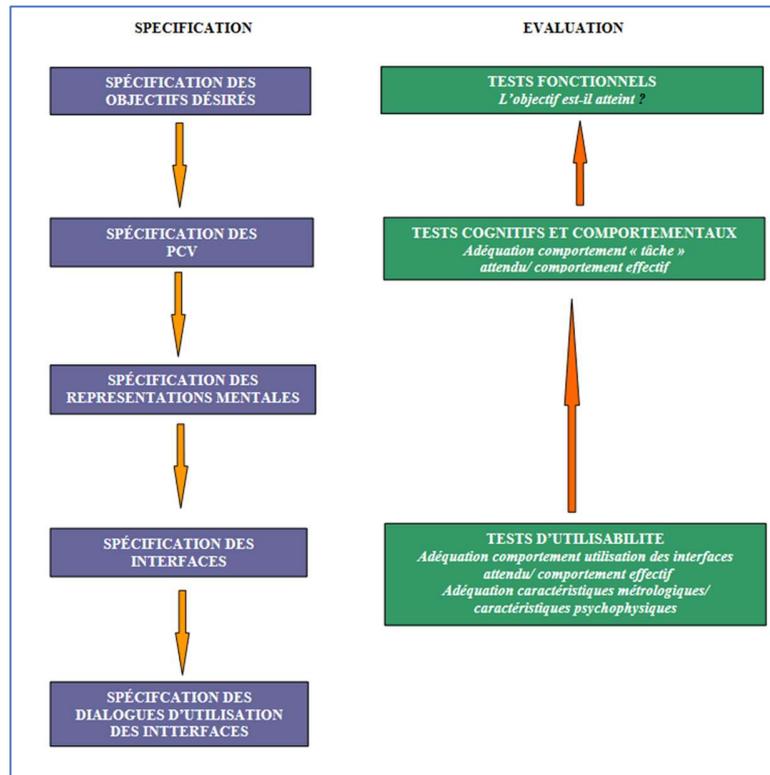


Figure 5 - Conception d'en environnement virtuel selon Lourdeaux, 2001

Richir et Fuchs proposent la méthode I2I (Interaction et Immersion pour l'Innovation) qui se sert de la méthode 3I2 comme « noyau » afin de proposer un cadre général de conception pour les techniques de RV en s'appuyant sur une démarche d'innovation (Richir and Fuchs, 2006; Richir *et al.*, 2015) en 11 étapes. Les 11 étapes qui composent cette méthode sont (i) mise en place d'une veille technologique et concurrentielle et d'une action de propriété industrielle, (ii) identification et validation du besoin de conception du système, (iii) cahier des charges fonctionnel et détermination des immersions et interactions fonctionnelles, (iv) détermination des PCV requises et des caractéristiques de l'EV, (v + vi) choix des processus cognitifs au niveau des interactions et immersions cognitives et des interfaces comportementales au niveau des interaction et immersions sensori-motrice, (vii) définition des interfaces comportementales, de l'environnement virtuel et des aides logicielles comportementales, (viii) programmation, (ix) évaluation, (x) exploitation et (xi) amélioration (cf. Figure 6).

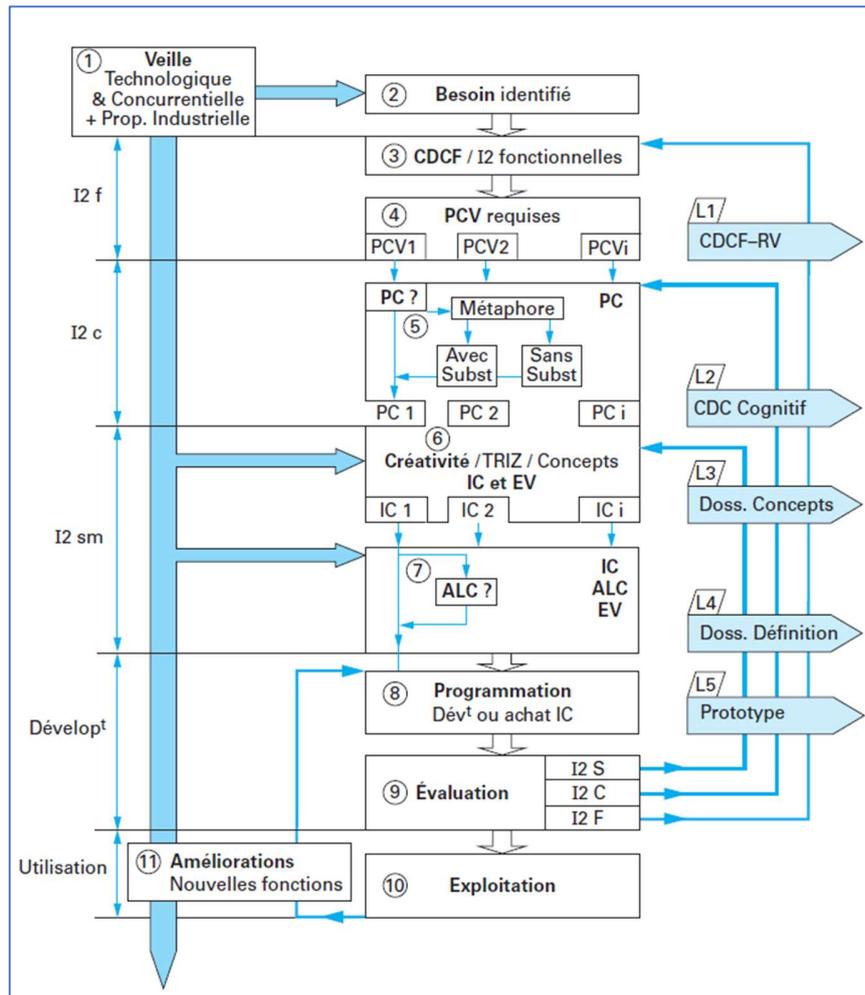


Figure 6 - Méthode PI, tirée de Richir et al, 2006

b. D'un point de vue de l'ergonomie

Avec le point de vue de l'ergonomie, nous pouvons citer des travaux qui proposent des méthodes de conception de systèmes impliquant des TI afin de les rendre plus adaptés aux utilisateurs.

On peut une nouvelle fois citer la méthode I2I proposé par Richir et Fuchs (Richir and Fuchs, 2006; Richir et al., 2015) qui propose de s'attaquer au problème de l'interdisciplinarité de la conception de systèmes de RV et insiste notamment sur l'intégration des ergonomes dans sa méthode à travers différentes étapes.

Les travaux de Loup-Escande, en 2011 (Loup-Escande et al., 2011), s'intéressent à l'intégration des utilisateurs en phase de définition des besoins en proposant d'intégrer la dimension « utilité » à la proposition de Richir et Fuchs avec la méthode I2I « pour l'utilité ». L'objectif avancé est de palier à certaines limites du modèle I2I qui sont (i) le manque de prise en compte de l'identification et de l'analyse des besoins (ii) le peu de place laissée à l'utilisateur final dans la conception et (iii) le peu de marge de manœuvre pour modifier l'artefact en cours de conception lorsque le besoin

utilisateur évolue. Pour cela, la méthode I2I « pour l'utilité » propose d'ajouter 7 étapes au modèle initial I2I (cf. Figure 7). Cela permet ainsi de guider la conception non seulement sur les caractéristiques cognitives et sensorimotrices de l'utilisateur mais aussi sur ses besoins et ses attentes. Elle a l'avantage d'être aussi bien équipée en termes d'outils. **Cependant, cette méthode reste assez générique et ne répond pas directement à la spécificité des EV pour la formation qui sont destinés à deux types d'utilisateurs : les formés et les formateurs.**

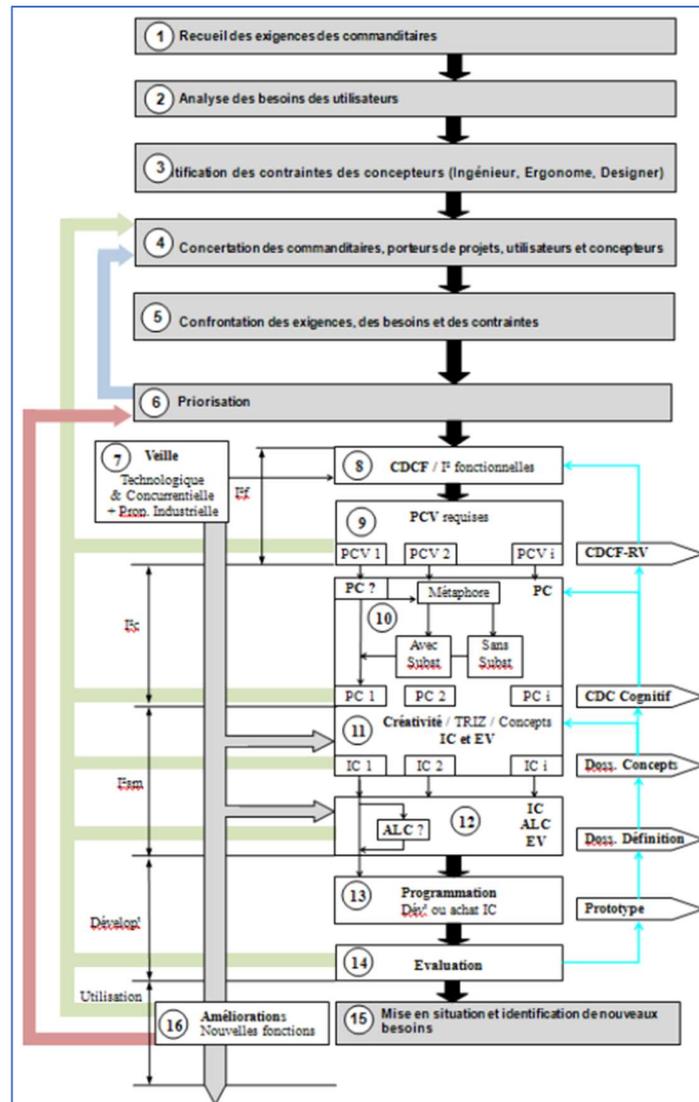


Figure 7 - Méthode I2I "pour l'utilité" tirée de Loup-Escande et al, 2011

Les travaux de Lourdeux introduisent une méthodologie de conception d'EV pour la formation. Cette méthodologie présentée de manière résumée dans ces travaux en 2012 (Lourdeux, 2012) propose 3 étapes qui sont (i) l'analyse des besoins, (ii) la conception de l'EV et (iii) l'industrialisation (ou implémentation éventuelle sur le terrain). La méthode proposée réalise un focus sur les utilisateurs que sont les formés et les formateurs. La première étape d'analyse des besoins permet d'identifier et formaliser le problème d'apprentissage. Pour cela, Lourdeux

propose d'intégrer une évaluation ergonomique au cours de laquelle une analyse terrain est réalisée sur les difficultés d'apprentissage par exemple.

Concernant l'intervention des ergonomes dans la conception des formations professionnelles en environnement immersif, les travaux de Boccara et Delgoulet (Boccara and Delgoulet, 2015; Delgoulet *et al.*, 2015; Boccara, 2018) proposent une approche basée sur une analyse de l'activité réalisée aussi bien sur le travail du formateur et du formé que sur celui de l'opérateur en production. La démarche d'analyse des travaux proposée se décline en 3 phases qui sont (i) une analyse et une reformulation de la demande (ii) des analyses du travail de formateurs, formés et des opérateurs de production (menées au niveau organisationnel et situationnel) et (iii) une co-analyse des savoirs métiers et de leurs transmissions dans le cadre d'un dispositif méthodologique impliquant les formateurs (cf. Figure 8).

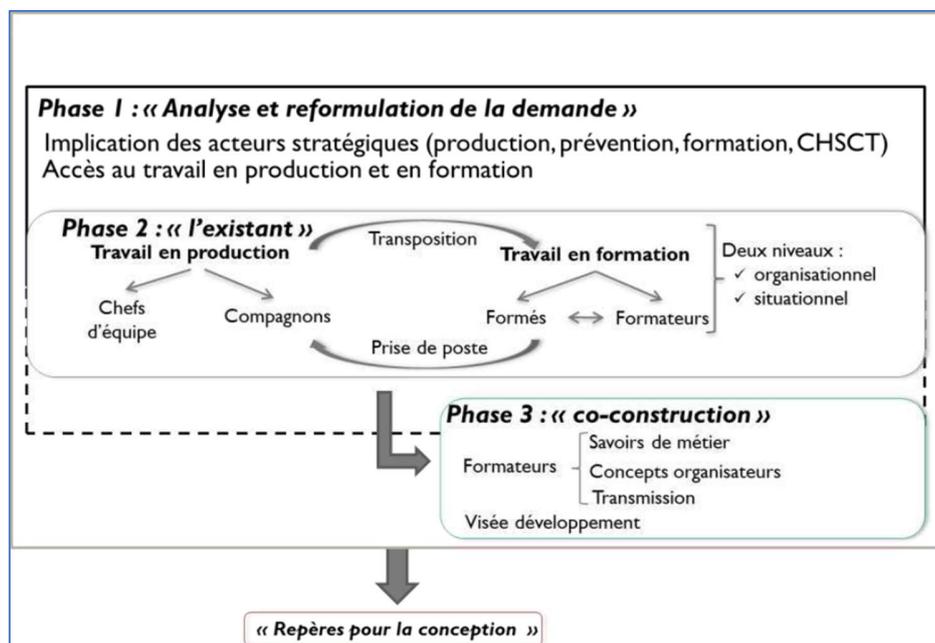


Figure 8 - Schématisation des trois phases de la démarche d'analyse des travaux tirée de Boccara et Delgoulet, 2015

Les travaux cités soulignent le potentiel de l'intervention des outils de l'ergonome pour interroger les utilisateurs sur leurs besoins afin de proposer un système immersif qui réponde à leurs attentes. Ils insistent également sur le fait qu'en formation professionnelle, il y a deux types d'utilisateurs, les formés et les formateurs ainsi que deux activités à analyser : le travail de l'opérateur de production et ceux du formateur et du formé.

Cependant, la définition des besoins revêt des aspects liés à la pédagogie qui ne peuvent être traités par le seul aspect ergonomique. Des propositions de méthodes sont donc faites plus spécifiquement sur les besoins pédagogiques. La section suivante propose de les analyser.

c. D'un point de vue de la pédagogie

Du point de vue de la pédagogie, des propositions sont aussi faites dans la littérature pour guider la conception.

Ainsi, nous pouvons citer les travaux de Lourdeaux qui introduisent une méthode de conception d'EV pour la formation (Lourdeaux, 2012). Cette méthode permet de concevoir, en parallèle et de manière itérative, l'EV pour la formation en tant qu'artefact technique et l'utilisation qui en est faite par les apprenants (les tâches d'apprentissage). Cette phase de conception, beaucoup plus détaillée dans ces travaux en 2001 (Lourdeaux, 2001) propose une modélisation d'EV pour la formation basée sur 4 étapes qui sont (i) une spécification des objectifs pédagogiques, (ii) une spécification de l'EV pédagogique pour le formé, (iii) une spécification de l'EV pour le formateur et (iv) une phase de tests d'utilisabilité et cognitifs lui-même. Ce modèle est basé sur sa méthodologie de conception d'EV qui a été présentée dans la section « D'un point de vue informatique » p.26 (Lourdeaux, 2001). Ainsi des spécifications de l'EV pour le formé et le formateur sont proposées (objectifs d'apprentissage, profils utilisateurs, aide à la création d'exercices, guidage...) afin de représenter les besoins de ces utilisateurs sur le versant pédagogique.

Nous pouvons aussi citer les travaux de Loup-Escande (Loup-Escande *et al.*, 2013; Loup-Escande, E. Jamet, *et al.*, 2015; Loup-Escande, É. Jamet, *et al.*, 2015) dans le cadre du projet VirtualiTeach. Ce projet visait à concevoir de nouveaux outils pédagogiques, basés sur des systèmes immersifs, pour l'enseignement et l'apprentissage de concepts scientifiques à des niveaux allant du BAC au BTS (cf. Figure 9). Ces travaux proposent une application de la méthode de CCU complète telle que définie dans la norme ('ISO 13407:1999', 1999) à l'aide de 4 phases qui sont (i) caractériser les contextes d'usages, (ii) analyser les exigences des usagers, (iii) développer les solutions et (iv) évaluer les solutions développées. L'objectif de ces travaux était de montrer qu'une application complète visant à décrire aussi bien l'utilisabilité que l'utilité des outils basés sur la RV était faisable mais aussi souhaitable. Des recommandations sont faites pour une bonne participation des utilisateurs durant les projets. Elle détaille ainsi comment spécifier le besoin des enseignants et élèves et comment les formaliser en scénarios pédagogiques. Cependant, elle ne renseigne pas comment elle a défini les spécifications de l'EV pour le développement des solutions.

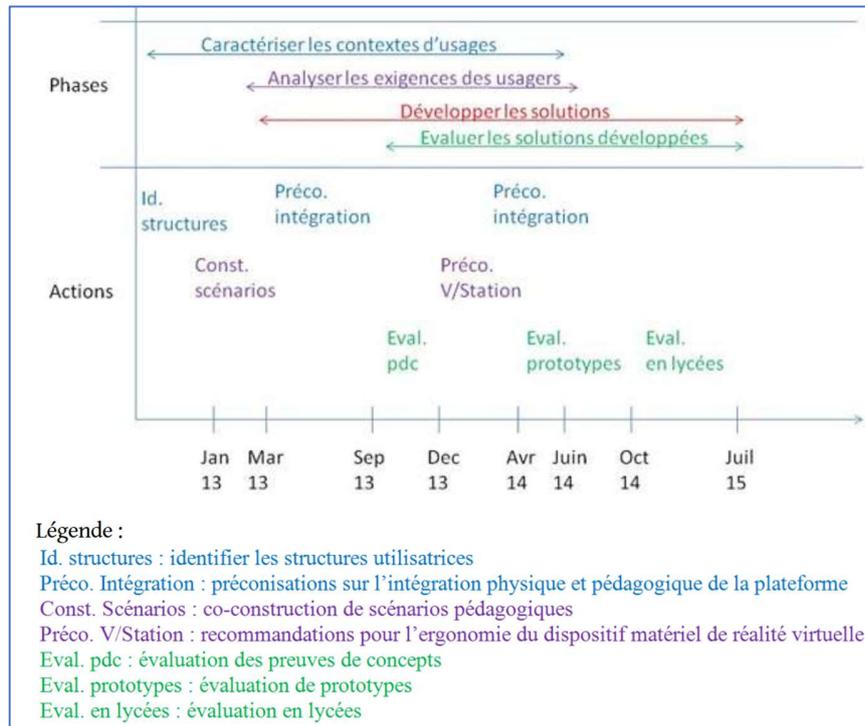


Figure 9 - Phases du processus de conception et actions réalisées au cours du projet VirtualiTeach tirée de Loup-Escande et al, 2015

d. Conception collaborative et ses limites

La complexité, les multiples connaissances nécessaires et la diversité des tâches et des métiers dans le processus de conception sont évidentes (Aoussat, Christofol and Le Coq, 2000; Cross, 2008). De ce fait, le processus de conception exige une collaboration et une réelle coopération entre les différents acteurs métiers focalisés sur des domaines différents. Ainsi, la conception collaborative peut être définie comme le processus de conception d'un produit à travers une collaboration entre les acteurs 'développeurs' multidisciplinaires associés au cycle de vie de ce produit (Shen, Hao and Li, 2008).

La conception de systèmes de formation impliquant des TI convient parfaitement à cette définition car mettant en œuvre de nombreux domaines de compétences relevant de l'ergonomie, informatique, sciences cognitives, didactique professionnelle, UX design et le management de projet

Cependant, dans leur analyse de la nature de la conception collaborative, Gero et Mc Neill en 1998 (Gero and Mc Neill, 1998) indiquent que la collaboration dans le processus de conception est épisodique et cyclique. En effet, les acteurs de la conception collaborent et travaillent ensemble à certains moments, et ensuite ils se séparent pour travailler individuellement à d'autres moments. On passe donc de phases de travail collaboratif à des phases de travail coopératif. Ici,

nous considérerons ces deux notions qui sont souvent utilisées pour caractériser la conception collaborative.

La coopération est définie comme une organisation collective du travail dans laquelle la tâche à satisfaire est fragmentée en sous-tâches, chacune de ces sous-tâches est ensuite affectée à un acteur métier, soit selon une logique d'attribution en fonction des compétences parfaitement horizontale dans laquelle tâches et acteurs sont équivalents, soit selon une logique d'attribution en fonction des compétences particulières de chacun » (Boutigny, 2004).

La collaboration s'entend par une situation de travail collectif dans laquelle tâches et buts sont communs. Tous les acteurs travaillent sur les mêmes points (Zaïbet, 2006). La collaboration implique une interaction sociale entre deux ou plusieurs individus qui travaillent ensemble, dans une phase ou plusieurs phases, afin de réaliser des buts communs (Patel, Pettitt and Wilson, 2012).

Ces points de définitions étant posés, nous allons maintenant leur confronter les méthodes de conception de systèmes immersifs existantes.

Concernant les travaux Fuchs (Fuchs *et al.*, 2006) et la méthodologie 3I2, malgré sa pertinence et son caractère fondateur à de nombreux autres travaux, elle est cependant très générique (Benne, 2013) et pas directement adaptée au contexte de la formation professionnelle. De plus, elle donne que très peu d'informations sur les aspects de collaboration ou de coopération entre les acteurs métiers de la conception.

Les travaux qui ont suivi ceux de Richir et Fuchs (Lourdeux, 2001; Richir *et al.*, 2015) proposant la méthode I2I, proposent de mieux prendre en compte l'interdisciplinarité de la conception de systèmes de RV. Cette méthode insiste notamment sur l'intégration des ergonomes dans la méthode à travers différentes étapes. Elle propose aussi d'intégrer des outils méthodologiques relevant de l'ingénierie industrielle comme le cahier des charges fonctionnel ou la méthode TRIZ afin de réaliser des « transferts de savoir » entre les différentes disciplines impliquées. Cependant, même si la méthode est très intéressante dans le cadre du développement d'applications immersives complexes en milieu industriel, il en reste néanmoins qu'elle ne peut être qualifiée, selon nous, de méthode « centrée-utilisateur » (Benne, 2013). La méthode n'aborde que très peu, pour ne pas dire n'aborde pas, la notion de coordination entre les différents acteurs métiers impliqués. La coordination est en effet un élément important qui peut être considérée comme l'ensemble des règles qui gèrent et contrôlent les activités de la coopération entre les acteurs métiers (Cazamian, Hubault and Noulin, 1996; Gaudin *et al.*, 2009). Ainsi, bien que proposant une "colonne vertébrale" pour la conception de systèmes de RV, cette méthode ne présente pas suffisamment, selon nous, les liens avec les méthodes utilisées par les concepteurs impliqués. Enfin, là aussi la proposition reste très générique et pas directement adaptée aux applicatifs de formation.

Loup-Escande en 2011 (Loup-Escande *et al.*, 2011) a fait évoluer la méthode I2I en intégrant les utilisateurs et apportant une notion « d'utilité ». Il s'avère que malgré la démonstration de son application à un cas concret industriel, l'ajout des 7 étapes de définition et priorisation des besoins en amont des 11 étapes déjà proposées par Richir et Fuchs dans I2I amène une certaine lourdeur

à la méthodologie et une approche fortement séquentielle. On ne retrouve pas réellement une mise en parallèle effective des étapes (coordination) de chaque métier comme on peut l'attendre d'une approche collaborative et interdisciplinaire. De plus, même si la méthode propose d'établir des échanges et des relations entre les concepteurs et les utilisateurs, cela n'est pas explicité sur tout le cycle de conception et cela reste limité surtout à la phase de définitions des besoins et de l'utilité. Ainsi, il n'est pas expliqué comment se fait la phase de convergence entre les concepteurs et les utilisateurs.

Les travaux de Lourdeaux en 2001 (Lourdeaux, 2001), traitant de la conception d'EV pour la formation, précisent que chaque étape doit être menée en collaboration avec différents experts : les experts du domaine (activité à reproduire dans l'EV), les experts relevant des sciences humaines et sociales (ergonomes, psychologues, cognitivistes, etc.) et les experts techniques (concepteurs-informaticiens). Cette méthode est très intéressante car elle semble mettre en évidence une certaine « concourance » qui se rapproche des caractéristiques de conception collaborative avec une approche centrée-utilisateur. Cependant, cette approche, selon nous, n'est pas encore assez « centrée-utilisateur » et demeure dès lors une méthode de conception « pour » les utilisateurs et non pas « avec ». Elle est par exemple limitée à du recueil d'expertises lors de la phase de spécification des objectifs pédagogiques. Dans les étapes proposées, aucun outil n'est réellement donné pour impliquer, faire participer les utilisateurs et les rendre ainsi encore plus co-concepteur. Cette méthodologie reste encore assez limitée sur la notion de coordination des différents métiers qui doivent y prendre part. Elle ne renseigne pas le rôle, de chaque métier engagé dans un tel projet.

Les travaux de Loup-Escande (Loup-Escande *et al.*, 2013; Loup-Escande, E. Jamet, *et al.*, 2015; Loup-Escande, É. Jamet, *et al.*, 2015) dans le cadre du projet VirtualITeach montrent qu'il est possible d'appliquer une démarche centrée-utilisateur dans ce contexte pédagogique regroupant un nombre important de lycées (11 au total). Cependant, les auteurs mettent aussi en avant des limites comme le temps de mise en œuvre qui est augmenté par les itérations successives « conception-évaluation » nécessaires à ces nouvelles technologies émergentes. Cela augmente le coût de tels projets. Les auteurs suggèrent également de prendre des précautions concernant l'instauration d'un climat favorable entre concepteurs et utilisateurs et aussi concernant la bonne articulation à trouver dans la conception et dans l'implication des utilisateurs. Les auteurs ciblent les réunions de développement comme des moments privilégiés qui peuvent permettre aux concepteurs et aux utilisateurs de mieux se comprendre. Cela fait référence en partie à la qualité de la collaboration durant ces rencontres. Cependant, les auteurs n'ont pas investigué si d'autres moments durant le processus de conception pouvaient être propices à ces phases de convergence (synchronisation des vues des différents métiers...). De plus, aucune indication n'est donnée sur les aides qui permettraient de mener à bien ces points de rencontre, ces convergences ni même pour réduire le nombre d'itérations. En effet, dans ce contexte, on peut citer, en s'appuyant sur les travaux de (Vinck, 1992; Jeantet *et al.*, 1996a; Jeantet, 1998a), l'exemple de l'usage d'Objets Intermédiaires de Conception (OIC) connus pour leurs caractéristiques de médiation, de transformation et de représentation (Boujut, 2003). Ces OIC sont de parfaits instruments de coordination ou de coopération des acteurs de la conception qui peuvent faciliter la convergence entre différentes disciplines et/ou métiers (Khatib, 2018).

D'autres travaux qui font référence à des OIC sont ceux de Boccara et Delgoulet (Boccara and Delgoulet, 2015; Delgoulet *et al.*, 2015; Boccara, 2018) sur la conception des formations professionnelles en environnement immersif. Leur approche participative propose de positionner

les méthodes de l'ergonomie et de la didactique professionnelle à un même niveau « carrefour ». Il s'agit ici d'identifier des situations de référence pertinentes (Samurçay and Rogalski, 1998) pour l'anticipation des situations futures probables afin d'orienter et d'agir durant le processus de conception (Boccaro and Delgoulet, 2015). Ces situations de références sont donc le travail en production et le travail en formation et peuvent permettre d'orienter les choix de conception d'un démonstrateur d'EV de formation. La démarche d'analyse des travaux proposée ici est très intéressante car elle fournit à l'ergonome des référentiels de situations synthétisant des repères pour la conception jouant le rôle d'OIC (Boccaro and Delgoulet, 2015). Cependant selon Boccaro et Delgoulet (Boccaro and Delgoulet, 2015), ces référentiels de situation nécessitent encore un travail de définition supplémentaire. De plus, la méthode s'est arrêtée à une définition originale de scénarios mais n'a pas montré comment ces scénarios pouvaient être co-construits avec l'ensemble des acteurs de la conception ni même l'implication de ces acteurs dans les étapes de conception qui suivent la définition des scénarios.

Ces travaux nous montrent que beaucoup d'améliorations ont été apportées aux méthodes existantes au fil des années. Tout d'abord, les méthodologies ont évolué afin d'insister sur la participation des différents acteurs afin de rendre les processus de conception plus collaboratif. Une autre notion s'est ajoutée, celle de la CCU en proposant des étapes supplémentaires et l'utilisation des outils de l'ergonome pour une meilleure prise en compte du besoin utilisateur. Aujourd'hui, certains des travaux cités proposent même à l'utilisateur de participer au processus de conception pour passer d'une conception non plus pour lui mais avec lui.

Cependant, ces méthodologies présentent des limites en conservant une approche séquentielle forte. Peu sont les travaux spécifiant clairement la manière de collaborer, de coopérer et de se coordonner. De plus, les phases de collaboration se cantonnent souvent et principalement à des réunions de développement. Même si certains soumettent quelles sont les tâches à effectuer, ils ne proposent pas d'aides pour mener à bien ces points de rencontre et améliorer ainsi la qualité de la collaboration.

Une amélioration qui pourrait être apportée aux méthodes existantes serait de proposer une mise en parallèle des étapes de chaque métier pour formaliser de la coopération et la coordination. Cela permettrait d'avoir un processus moins séquentiel et de potentiellement diminuer le temps des projets. Une autre amélioration serait d'ajouter des étapes collaboratives à plusieurs points de rencontre des différents experts. On pourrait également définir des supports, comme des OIC, pour améliorer les phases de collaboration et faciliter la convergence entre les différents acteurs et disciplines.

4. Problématique scientifique et hypothèses de recherche

Au regard de notre état de l'art et du contexte industriel général mais aussi celui plus spécifique de l'entreprise pilote, nous proposons la problématique suivante :

Comment faire collaborer l'ensemble des acteurs métiers concernés afin de concevoir *pour* et avec les futurs utilisateurs (apprenants et formateurs) des moyens de formations basés sur les TI de la manière la plus adaptée que possible aux contraintes industrielles ?

Nous proposons deux hypothèses de recherche pour répondre à notre problématique :

La première hypothèse, notée H1, est « **Il est possible de formaliser une approche multidimensionnelle de conception collaborative de systèmes de formation professionnel immersifs centrée-utilisateur** ».

Notre état de la littérature a montré les manques du peu de processus de conception de systèmes de formation en RV centrée-utilisateur. L'objectif est de permettre une synchronisation de l'ensemble (ou les plus pertinentes) des processus proposés aujourd'hui pour permettre une approche effectivement parallèle et coordonnée. Cette synchronisation des disciplines et métiers devra permettre aussi de **spécifier le rôle de chaque métier dans le processus de conception en prenant en compte les contraintes industrielles**. Par exemple, le processus proposé devrait être adaptée à la constitution des équipes de conception présentes au sein des entreprises. En effet, il n'est pas rare de manquer de compétences dans les équipes constituées. La démarche pourrait donc proposer une approche adaptée, à l'image de celle proposée dans les travaux de Bennes (Bennes, 2013) également conduits au sein d'ERCOS et qui décrivent la constitution d'une équipe RV en fonction des contextes plus ou moins dégradés.

La proposition d'une approche de CCU spécifique formateur/apprenant intégrant les méthodes actuelles de UX design pourra être traitée par l'intermédiaire (i) des nombreux travaux génériques dans le domaine de la CCU et du UX design et (ii) des travaux plus particuliers de Loup-Escande et al. (Loup-Escande, Burkhardt and Richir, 2013; Loup-Escande, E. Jamet, *et al.*, 2015; Loup-Escande, É. Jamet, *et al.*, 2015) qui proposent déjà des briques méthodologiques existantes à compléter dans le contexte de la formation. La méthode proposée devra notamment être supportée par des outils tout au long du processus de conception. Là aussi, nous pourrions proposer des outils utilisés par les différents métiers et disciplines.

La deuxième hypothèse, notée H2, est : « **Dans le cadre du modèle de conception qui sera proposé, il est possible de définir l'ensemble des phases de convergence et les moyens de les faciliter** ».

L'analyse de la littérature mais aussi des pratiques existantes chez Stäubli permettront aussi de mettre en évidence les étapes de convergence à traiter. Il s'agira de détecter les points de rencontre entre les différents acteurs de la conception au cours desquels les phases de négociation, d'échanges, de recherche de compromis par exemple sont les plus intenses et stratégiques. Nous pourrions nous appuyer sur plusieurs travaux déjà réalisés au sein du pôle ERCOS sur les phases de convergence multidisciplinaires (Guerlesquin, Mahdjoub and Sagot, 2011; Guerlesquin, 2012; Mahdjoub *et al.*, 2013). Pour supporter ces phases, nous pourrions notamment interroger le domaine de recherche des OICs déjà cité précédemment. Ce domaine au carrefour de différentes disciplines est traité sur le plan de l'ergonomie participative (Broberg, Andersen and Seim, 2011), de l'ingénierie de conception (Jeantet *et al.*, 1996b; Jeantet, 1998b; Laureillard, 2000; Guerlesquin, 2012; Al Khatib *et al.*, 2014) et de l'ingénierie pédagogique (Jeantet *et al.*, 1996a; Jeantet, 1998a; Carlile, 2004; Akkerman and Bakker, 2011). Enfin, l'hypothèse H2 étant aussi orientée sur la possibilité de faciliter ces phases de convergence, il

s'agira de mettre en place les protocoles expérimentaux qui permettront d'évaluer la qualité de collaboration durant ces phases. Nous pourrions par exemple nous inspirer de travaux déjà réalisés par ERCOS (Khatib, 2015) et d'autres comme ceux de Baker et al. (2013), Post et al. (2008), Rahman et al. (2013) ou encore Burkhardt et al. (2009).

Les deux hypothèses ainsi traitées permettront de fournir un processus original de conception au caractère multidimensionnel, collaboratif et centrée-utilisateur qui n'existe pas encore dans le domaine de la conception de systèmes de formations immersifs. Ce travail de recherche permettra de participer à l'unification de nombreuses méthodes existantes mais encore trop cloisonnées. Les travaux proposés permettront aussi à Stäubli d'avoir une démarche opérationnelle et adaptée à ses contraintes. Les résultats prévus de ces travaux participeront également à concevoir des systèmes toujours plus adaptés aux futurs utilisateurs, facteur clé du succès de l'intégration des TI dans l'industrie.

5. Méthodologie de recherche et ma position dans l'entreprise

L'analyse des processus de conception peut être réalisée selon deux grands courants de méthodes de recherche adaptées aux situations de conception collaborative : les techniques dites *in vitro* (ou en laboratoire) et les techniques dites *into the wild* (observations directes des situations réelles). Le choix de la méthode à utiliser dépend du type de résultats recherchés ainsi que de la disponibilité du terrain (Kobenan, 2016).

Dans notre cas, l'entreprise pilote avait exprimé le besoin d'avoir un chef de projet pour mener les projets et le cas échéant pouvoir participer à certaines tâches spécifiques liées par exemple à l'ergonomie des applications développées. Nous avons donc opté pour une approche ethnographique, qui fait partie des méthodes d'observation directe. L'ethnométhodologie est un courant de la sociologie qui tire son origine dans les années 50 par les travaux de Garfinkel (1967). Il s'agit là d'opérer un recueil le plus fidèle possible des situations observées par une participation la plus directe possible, voire en étant partie prenante de l'action elle-même (Kobenan, 2016). Pour observer des équipes de concepteurs, l'approche ethnographique développée par Minneman (1991), est basée sur des itérations en trois étapes autour du processus de conception : **l'observation du processus, l'analyse du processus et l'intervention sur le processus.**

Nous avons donc pris la décision d'initier une étude ethnographique en nous plongeant au cœur des projets pour collecter des données de terrain. Nous avons donc tenu différents rôles et participé à la réalisation des projets. Cette démarche nous a offert une opportunité précieuse d'observer la mise en pratique de notre processus et d'analyser les interactions au sein des équipes de concepteurs dans des situations réelles. Nous avons analysé les projets par l'intermédiaire de tableaux de bord qui suivaient et répertoriaient les décisions, des problématiques ou des points d'attention concernant la réalisation des projets.

En complément, nous avons mené une approche mixte, combinant des méthodes qualitatives et quantitatives, à travers des entretiens et des questionnaires, pour approfondir notre analyse et interprétation des données recueillies.

Chapitre II. Etat de l'art

Le chapitre suivant propose de conduire une étude des pratiques et un état des lieux concernant la formation professionnelle de notre entreprise pilote.

Chapitre III. Etude exploratoire

Chapitre III : Etude exploratoire

1. Objectif et contribution de l'étude	40
2. Participants	41
3. Matériel	42
4. Procédure	42
5. Analyse des données	43
a. Profil de l'entreprise	43
i. Format	43
ii. Contenu	44
iii. Supports	44
iv. Types d'évaluation	44
b. Opportunité et freins vis-à-vis de l'utilisation des technologies immersives pour la formation ...	45
i. Difficultés	45
ii. Opportunités vis-à-vis de l'utilisation des technologies immersives pour la formation	47
iii. Freins vis-à-vis de l'utilisation des technologies immersives pour la formation	48
6. Discussion	49
i. De la création de formations immersives au besoin de gestion de la formation immersive ...	50
ii. Vers des expériences de formation encore plus immersives, interactives et guidées :	51
iii. Besoin d'un processus opérationnel pour la Conception collaborative multi-métier des applications de formation immersives	52
7. Synthèse du chapitre	53

1. Objectif et contribution de l'étude

Afin de favoriser la mise en place des TI pour la formation professionnelle, **notre premier objectif** consiste à (i) mieux comprendre le fonctionnement et les pratiques concernant la formation professionnelle au sein de l'entreprise Stäubli et (ii) de connaître le positionnement de l'entreprise et de ses services vis-à-vis des TI. En effet, cela est un prérequis afin de proposer des solutions opérationnelles pour intégrer les TI dans les formations au sein de l'entreprise. Également, il conviendra d'identifier les opportunités et freins liés aux TI.

Ainsi, ce chapitre traitera uniquement de la contribution suivante :

C1 : Au sein de l'entreprise Stäubli, analyse et compréhension, (i) des pratiques mises en place vis-à-vis des formations professionnelles et (ii) des opportunités et freins potentiels liés aux TI.

Pour cela, nous avons mené une série d'entretiens de groupes avec plusieurs services de l'entreprise. Les méthodes utilisées pour cette étude, de type focus group, sont détaillées dans la partie qui suit.

2. Participants

L'étude a été conduite sur la base du volontariat et un total de **19 employés**, provenant de différents services, a été retenus pour les entretiens : **ressources humaines (RH), maintenance, SSE** (sûreté, sécurité et environnement), **production, qualité, méthodes, recherche et développement** et **formation support client**. Les métiers techniques de cette étude font partie de la division Raccord. Cette division conçoit et fabrique des systèmes de connexion rapide pour diverses applications. Il y a de la diversité entre les participants concernant le genre (7 femmes et 12 hommes), l'expérience dans l'entreprise (entre 1 an et 30 ans) et leurs fonctions qui dépendent de leurs services (cf. Tableau 1).

Services	Nb personnes	Femmes	Hommes	Postes occupés
Ressources Humaines	4	4	0	Responsable secteur emploi formation Deux chargées de formation Alternant
Maintenance	3	0	3	Responsable secteur bureau d'études Responsable section construction rénovation bâtiment Responsable secteur maintenance bâtiment
Sureté Sécurité Environnement	3	2	1	Responsable service sureté, sécurité et environnement Deux techniciens
Production	2	0	2	Responsable service production Technicien production
Qualité	2	0	2	Responsable service qualité produit Cadre service qualité client
Méthodes	1	0	1	Responsable service industrialisation
R&D	1	0	1	Responsable R&D
Formation support client	3	1	2	Cadre service marketing communication Cadre service formation client Alternant

Tableau 1 - Profils des personnes ayant répondu à nos focus group

- La mission du **service des RH** est de gérer les compétences du personnel. Ce service propose des formations appropriées pour optimiser l'efficacité des employés comme des formations à l'utilisation des logiciels, en langue, en management ou des habilitations électriques. Ce service a également pour mission de contribuer au recrutement et au licenciement.
- Le **service maintenance** doit maintenir ou rétablir les biens afin qu'ils soient en mesure d'assurer un service déterminé. Ce service regroupe ainsi les actions de dépannage et de réparation, réglage, révision, contrôle et vérifications des équipements matériels

(machines, véhicules, ...) et immatériels (logiciels). Les machines concernées sont des machines d'usinage, de trempe, des presses, ...

- La mission du **service sûreté, sécurité et environnement** est de prévenir des risques industriels liés à l'environnement des salariés au sein de l'entreprise comme les risques liés aux environnements de travail, les risques chimiques, les risques électriques, les risques liés aux gestes métier. Ce service informe, sensibilise, contrôle et audit le personnel.
- Le **service de production** prend en charge la fabrication des produits finaux de l'entreprise. Cela implique de gérer les quantités, qualité et de respecter les délais de fabrications prévus.
- Le **service qualité** assure la mission de la production en termes de qualité, de coût et de délai.
- Le **bureau des méthodes** définit les méthodes de production utilisées pour réaliser le produit dans le but de produire en respectant le triptyque qualité, coût, délais.
- Le **service de recherche et développement** développe des innovations. Ce service regroupe l'ensemble des activités de la recherche d'une invention jusqu'à assurer sa faisabilité industrielle.
- Pour finir, le **service de formation support client** va agir auprès du client en leur mettant à disposition des moyens de formation.

3. Matériel

Nous avons utilisé un guide d'entretien qualitatif (Cf. Annexe 1 p.180). L'objectif était de recueillir des données :

- **Sur la typologie des formations existantes** dans l'entreprise pilote et l'**identification** des difficultés qui y sont associées.
- **Sur les potentielles formations déjà réalisées à l'aide TI** au sein des différents services
- **Sur les risques et opportunités liés à l'utilisation de tels outils** pour réaliser des formations.

Pendant la session, nous utilisons une application d'enregistrement audio pour sauvegarder la conversation.

4. Procédure

Pour les entretiens, nous avons donc retenu la méthode **du focus group** (Caplan, 1990; Savory, Crowe and Hallbeck, 2012) qui est une méthode qualitative de collecte de données. Cela permet à des utilisateurs potentiels de fournir des commentaires, des préoccupations, des frustrations et des idées pour améliorer ou concevoir un produit, un système ou un service (Caplan, 1990). Il s'agit d'une technique d'entretien de groupe, d'un groupe de discussion semi-structuré modéré par un animateur neutre en présence d'un observateur. Il est important qu'un focus group puisse avoir une certaine liberté de conversation non structurée, afin que les participants puissent discuter des sujets qui leur sont les plus pertinents et ainsi apporter un éclairage sur ce qui est considéré comme important (Stewart, Shamdasani and Rook, 2007) .

Il vise à recueillir des informations sur un nombre limité de questions définies à l'avance. Cette technique d'entretien est donc basée sur la dynamique de groupe, elle permet d'explorer et de

stimuler différents points de vue par la discussion (Marty, 2021). Les échanges favorisent l'émergence de connaissances, d'opinions et d'expériences comme une réaction en chaîne à travers la réunion de personnalités diverses favorisant l'expression et la discussion d'opinions controversées.

La durée des échanges était d'environ une heure. Une session de groupe de discussion ou un entretien a été organisé par service.

5. Analyse des données

a. Profil de l'entreprise

Pour décrire le profil de l'entreprise concernant son activité de formation, nous avons donc retenu différents items qui sont le **format, le contenu de la formation, les supports de formation et les types d'évaluation**. Une synthèse des éléments sont présentés dans la Tableau 2.

Sujet	Résumé des réponses
Format	Organisme externe, intra-entreprise ou compagnonnage
Contenu de la formation	Formation au catalogue en fonction des besoins des salariés (management, langue, sécurité) Formation liées aux machines Logiciels et outils utilisés Formation sur les produits et process
Support de formation	Power point, PDF, vidéo, notice, gamme de montage, animation 3D, situation réelle
Type d'évaluation	Evaluation de la satisfaction (à chaud et à froid) ou des compétences par le biais de quizz ou qcm Evaluation subjective sur les compétences

Tableau 2 - Profil de l'entreprise

i. Format

Les entretiens vis-à-vis des formats de formations mis en œuvre au sein des services sondés font ressortir les points suivants :

- Le format dépend fortement du besoin :
 - Organismes externes : dans le cas d'habilitation ou de compétences non détenues dans l'entreprise
 - En interne (interservices) : une personne d'un service va former une personne d'un autre service sur un produit ou un process par exemple
- Cependant le format le plus utilisé et commun à chaque service est le compagnonnage.
 - C'est-à-dire la formation à un métier par transmission de connaissances. Il n'y a pas de formateur désigné, toute personne compétente au poste peut former un apprenti à son métier. Le compagnonnage traditionnel en tant que pratique de socialisation, est une option fréquemment utilisée par les secteurs « manuels » afin de permettre un partage intellectuel, social, et expérientiel, en face-à-face direct sur le lieu de travail (Le Bellu, 2016)

Le compagnonnage est une modalité très intéressante car elle met en situation concrète le formé sur son futur lieu de travail. Cependant, la formation est peu, voire pas du tout, organisée et chaque formateur s'organise comme bon lui semble.

ii. Contenu

Les entretiens ont fait émerger les points suivants :

Le contenu des formations dépend des services concernés et de leurs activités par exemple :

- Le service des RH met à disposition des formations à diverses compétences dans le secteur tertiaire comme le management, les langues, la communication, les outils informatiques ...
- Le service sûreté sécurité et environnement met également des formations à disposition des salariés pour certifier que l'apprenant possède les compétences à la réalisation d'une activité. Ces formations concernent principalement les dangers à l'atelier : risques chimiques, habilitation électrique...
- Les services maintenance et R&D mettent à disposition des formations sur les logiciels et outils utilisés
- Les services production et méthodes forment sur les produits et process

Il existe toute une variété d'autres contenus que les services mènent généralement en complément de ces formations « classiques ». Elles sont là aussi réalisées en compagnonnage.

iii. Supports

Concernant les supports utilisés, les personnes questionnées sont unanimes : **pour les formations en compagnonnage il n'y a pas de support de formation formalisé**. Les seuls supports disponibles sont des documents de travail comme une gamme de montage qui peut être utilisée dans un contexte de formation à un poste de production.

Une spécificité au service maintenance est le fait qu'il fait appel aux constructeurs des machines pour les formations. Cela induit des formations délocalisées sur le site du constructeur avec accès à des machines qui seront/sont installées au sein de l'entreprise Stäubli.

Pour les autres formations, autre que le compagnonnage, le support qui est privilégié est le Powerpoint contenant des images et des vidéos.

Globalement, les supports mis en œuvre par les services sondés sont très peu ouverts à l'interactivité et la mise en situation. L'apport des TI via les possibilités d'immersion et d'interaction avec des EV semble très intéressant pour amener un intérêt supplémentaire aux supports déjà utilisés.

iv. Types d'évaluation

Les entretiens mettent en évidence que peu d'évaluations formelles sont conduites à la fin d'une formation. Si c'est le cas, elles portent sur la satisfaction des formés sur la formation. C'est notamment le cas des évaluations organisées par le service des RH.

Les seules formations avec une évaluation formalisée sont les formations organisées par le service sûreté sécurité et environnement. En effet, elles sont très souvent organisées par un organisme externe pour fournir une certification à l'apprenant.

Le compagnonnage, qui est peu formalisé, est très peu évalué. Le compagnon (formateur) valide la formation de manière subjective, sans critère d'évaluation.

b. Opportunité et freins vis-à-vis de l'utilisation des technologies immersives pour la formation

Les entretiens conduits ont permis d'identifier (i) des difficultés inhérentes à l'activité de formation pour comprendre les (ii) les opportunités et (iii) les freins liés aux formations immersives. Ces éléments sont résumés dans le Tableau 3 p.49.

i. Difficultés

Le manque d'attractivité des formations

Les services peuvent être confrontés à une difficulté liée à l'insuffisance de mises en situation réelles. Les présentations PowerPoint utilisées s'avèrent peu immersives et interactives, ce qui se traduit par une interaction réduite de la part des apprenants et, par conséquent, une moindre attention portée à la formation. Ces supports se révèlent limités dans leur capacité à véritablement immerger le client ou l'apprenant dans le but de lui donner une compréhension plus approfondie d'un produit ou d'un domaine d'application

Le service des RH rencontre également la difficulté d'attirer les personnes en formations.

Le manque de formalisation des formations

D'autres difficultés qui ont été évoquées concernent la formation en compagnonnage. Selon les personnes sondées, le compagnonnage n'est pas assez structuré et les connaissances ne sont pas capitalisées. Il y a un manque de formalisme et de recensement des formations. En général il n'existe pas de plan de formation ni de moyen d'évaluer si la personne a bien été formée. Chaque nouvel entrant n'est pas formé de la même manière car il est formé en fonction de la manière de travailler de son compagnon.

L'absence de support de formation pour le formateur accroît le risque de disparités et d'incohérences par rapport au contenu enseigné. À long terme, cela peut entraîner des inégalités de connaissances au sein de l'entreprise. De plus, il est déjà arrivé que des personnels détenant des connaissances cruciales quittent l'entreprise et emportent avec eux leur savoir.

Le manque de suivi et d'évaluation des formations

L'absence d'un plan de formation structuré pour le cas du compagnonnage entraîne une absence d'objectifs pédagogiques définis et de moyens pour évaluer l'acquisition de compétences par les personnes concernées. L'évaluation des formations repose largement sur le jugement du compagnon désigné, ce qui introduit un degré de subjectivité considérable.

De plus, en raison de cette absence de formalisme, le service des RH se heurte à des difficultés pour assurer un suivi adéquat du compagnonnage et pour en conserver une trace. On constate ainsi un manque important de suivi et de capitalisation des connaissances acquises lors des formations.

Il est également souvent ardu de garantir la qualité des formations dispensées dans des ateliers distants, voire de s'assurer que le contenu de la formation a bien été compris lorsque les participants ne partagent pas la même langue. L'évaluation à distance de la compréhension des participants étrangers représente une difficulté supplémentaire.

La difficulté à mobiliser des personnes

Des problématiques ont été signalées concernant l'organisation des formations. Il peut s'avérer complexe de mettre en place le compagnonnage, car cela nécessite la mobilisation de personnes chargées de former et de superviser la formation. Dans certains cas, les contraintes de disponibilité limitée des individus ne permettent pas de garantir la mise en œuvre du compagnonnage.

De plus, pour le service des RH, qui est responsable de l'organisation de toutes les formations, il arrive que certaines formations soient annulées à la demande de la personne devant les suivre ou de son supérieur hiérarchique en raison des besoins immédiats au sein de leur service. Cela a un impact sur le service des RH, qui se retrouve contraint de réorganiser de nouvelles sessions de formation dans de tels cas.

Le manque de compétences

Le panel sondé a insisté sur le manque de compétences en formation. En effet, il a été rapporté que les compagnons sont des experts dans leurs domaines "métier", mais qu'ils ne possèdent pas nécessairement les compétences de formateurs. Pour certains d'entre eux, il leur est difficile « d'être pédagogue ».

D'autres problèmes concernent le contenu des formations. Selon les retours du panel, il est parfois complexe de déterminer le contenu approprié pour la formation : "Le niveau de détail nécessaire varie en fonction du public visé." Par exemple, pour les formations en matière de sécurité effectuées en externe, il est essentiel de garantir que le contenu soit en adéquation avec les besoins spécifiques de l'entreprise.

La réactivité

Pour certains services, une difficulté qui est rencontrée est liée à la réactivité. En effet, quand il y a des augmentations de charge de travail et des embauches associées, les besoins de formation augmentent. Il faut alors être réactif pour avoir du personnel formé à temps.

Concernant la réactivité, un autre point bloquant concerne les formations aux nouveaux produits développés par l'entreprise. Dans certains cas, le nouveau produit n'est pas encore en ligne de production et donc l'entreprise ne dispose pas des moyens pour anticiper la formation de ses équipes de production.

Une autre remarque concerne une des particularités de la division « Raccord » qui possède une grande diversité de produits. Sur certaines périodes, il est courant d'avoir des nouveaux produits chaque semaine en fonction des besoins d'un client. La difficulté ici est qu'il n'est pas possible de connaître à l'avance pendant combien de temps ces produits seront en production donc il est difficile pour les équipes du service de juger de la rentabilité de la mise en place d'une formation spécifique à ces nouveaux produits.

La gestion du matériel

Une autre difficulté concernant la logistique est la gestion du matériel. Il n'est pas toujours possible d'avoir à disposition du matériel pour les formations (salles ou engins) ce qui va retarder le démarrage d'une formation. Il n'existe pas de matériel dédié à la formation donc ce matériel est déjà réservé en priorité pour les besoins des métiers.

Le coût des formations

Pour le service de maintenance, le coût des formations est élevé car il faut envoyer les techniciens pendant plusieurs mois chez le constructeur. Et à leur retour, ils doivent former le reste des équipes. Ce besoin de formation est également très présent car le service maintenance se doit de suivre les évolutions technologiques régulières des machines présentes dans les ateliers.

Le compagnonnage représente également un coût élevé en formation car cela nécessite de mobiliser une personne et un poste pour former quelqu'un pendant plusieurs semaines. Aujourd'hui l'entreprise constate qu'il y a plus en plus de turn-over dans les services et qu'il est difficile de fidéliser les personnes en production.

ii. Opportunités vis-à-vis de l'utilisation des technologies immersives pour la formation

La deuxième partie du questionnaire portait sur l'intérêt des TI pour les formations.

Selon les personnes interrogées, ces nouvelles technologies pourraient être intéressantes pour **attirer les personnes à venir en formation**. Certains services pensent même que cette nouvelle technologie pourrait attirer de nouveaux talents car cela donne une image d'une entreprise innovante et à la pointe des dernières technologies.

D'après le service RH, il y a l'opportunité de former **un plus grand nombre de personnes en moins de temps** sans pour autant augmenter les ressources nécessaires.

Enfin, le fait de pouvoir **simuler de nombreux scénarios par l'intermédiaire des TI** est aussi considéré comme une opportunité. Il a été mis en évidence de nombreux avantages voire opportunités secondaires. Nous les listons ci-dessous :

- Pouvoir adapter le contenu de la formation au profil des personnes à former (opérateur, technicien ou agent de maintenance). Le contenu pourrait également s'adapter aux connaissances initiales de l'apprenant et de son expérience.
- Pouvoir mettre les formés en condition plus réaliste ou impossible à recréer sur site
 - o Simuler des situations à risques sans que la personne soit en danger
 - o Être fidèle à l'environnement de l'entreprise : en effet certaines vidéos de formations sont réalisées dans d'autres entreprises et les personnes n'arrivent pas à se projeter par rapport à leur lieu de travail
 - o Former des personnes pour des zones à accès restreint
- Avoir le droit à l'erreur : la personne ne risque pas d'endommager des produits ou de créer des accidents
- Mieux capter l'attention et améliorer la compréhension grâce au côté ludique. L'apprenant sera plus actif et moins passif. Il se sentira davantage impliqué et motivé dans sa formation.
- Transmettre la culture du produit : en immergeant une personne dans un environnement et en présentant son usage en le projetant chez le client par exemple
- Se décorrélérer de la partie physique dans le cas où le matériel de formation n'est pas disponible voire inexistant si c'est un nouveau produit. Il serait également possible d'avoir la sensation du produit entre les mains grâce à des dispositifs haptique.
- Se préparer en amont à une intervention, de manière plus réaliste, sur une machine complexe pour s'entraîner avant la véritable intervention
- Pouvoir former à distance
- Améliorer la qualité de formation dans les ateliers à distance
- Servir de support de formation pour aider le formateur

Enfin, au-delà de passer certaines formations en réalité virtuelle ou augmentée, les personnes interrogées pensent que cela serait une opportunité pour formaliser le contenu des formations concernées.

iii. Freins vis-à-vis de l'utilisation des technologies immersives pour la formation

Une fois les opportunités à utiliser les TI dans le cadre de leur formation, les personnes interviewées nous ont fait part des freins concernant la mise en place de ces nouvelles technologies.

- Tout d'abord, certains sont inquiets de ne pas avoir une bonne adéquation entre les contenus et le besoin de l'entreprise. C'est notamment le cas dans le cadre de formations « clé en main ». Cela pose le problème de personnaliser les applications de ce type.
- Il y a aussi des réticences qui ont été évoquées vis-à-vis de l'image **trop ludique que peuvent véhiculer les TI**. Les personnes interviewées craignent que l'aspect ludique prenne le dessus sur l'aspect pédagogique et que l'application soit vue uniquement comme un jeu par les formés.
- Pour certaines formations, il y aura toujours besoin de passer par un organisme externe pour pouvoir faire des certifications. Ils ne voient pas comment faire la certification à partir d'une formation VR.

- Un autre frein est qu'il faut repenser l'aspect organisationnel surtout dans le cadre de formation à un grand nombre de personnes.
- Ce qui freine certains membres du panel c'est l'impossibilité de retrouver les bruits, la vue, les odeurs, les efforts de la situation réelle.
- D'autres voient un frein important à la mise en place de ces formations immersives car ils considèrent que le temps nécessaire et le coût pour développer une application sont importants. De plus, ils appréhendent aussi la réactivité et les coûts liés à la mise à jour des contenus.
- Pour finir, d'un point de vue humain, un autre frein est la réticence au changement des employés ou leur sensibilité physiologique concernant l'utilisation des TI. Certains craignent en effet d'être sujet au mal des simulateurs.

Difficultés rencontrés	Opportunités	Freins
Peu de mise en situation réelle	Etre attractif, attirer les personnes en formation et les talents à Stäubli	Adéquation du contenu avec le besoin de l'entreprise
Peu de formalisme du compagnonnage	Former un grand nombre de personne rapidement et former des personnes en impactant moins les ressources d'un service	Aspect ludique qui prend le dessus sur l'aspect pédagogique
Peu de suivi des formations	Simuler des scénarios d'apprentissage (adapter le contenu de la formation, mettre en situation et avoir le droit à l'erreur, mieux capter l'attention et améliorer la compréhension grâce au côté ludique, retrouver l'environnement Stäubli, simuler des situations à risques, former pour des zones à accès restreint, transmettre la culture du produit, se décorrélér de la partie physique, être actif et moins passif pour se sentir plus impliqué, préparation à une intervention en amont)	Repenser l'aspect organisationnel è surtout en cas de formation à un grand nombre
Gestion des personnes	Formaliser le contenu de la formation et son évaluation	Impossibilité d'adapter l'haptique è ne pas retrouver les bruits, la vue, les odeurs, les sensations
Gestion du matériel de formation (salle, engins, ...)	Former à distance et améliorer la qualité dans les ateliers à distance	Temps et coût de développement
Besoin de formation	Avoir un support pour aider le formateur	Réticence au changement des employés
Contenu de la formation en adéquation avec le besoin	Améliorer en continu les moyens de formation (industrie 4.0, être proche des académies)	Réactivité et coût des mises à jour des contenus
Evolution des contenus de formation	Avoir la sensation d'un produit	Sensibilité physiologique des employés et reticence aux changements des moyens de
Coûts des formations		Besoin d'un organisme externe pour les habilitations

Tableau 3 - Difficultés liées à la formation, opportunités et freins de l'utilisation des TI pour la formation

6. Discussion

La mise en évidence des difficultés liées à la formation actuelle mais aussi des opportunités et freins offerts par les TI dans l'entreprise pilote nous permettent de discuter de voies de développements futurs. Ces développements futurs concernent des défis qui peuvent être traités par le domaine de la recherche en étroite relation avec des évolutions de pratiques dans le milieu industriel au sein de l'entreprise d'accueil. Nous avons décidé de discuter ces développements selon les catégories suivantes.

i. De la création de formations immersives au besoin de gestion de la formation immersive

L'une des premières voies de développement mise en évidence par notre étude exploratoire concerne la gestion de l'activité de formation en général et plus particulièrement en immersif. En effet, des difficultés ont été émises par le panel sondé et également mis en perspective vis-à-vis des opportunités et freins liés aux TI.

Le recours à des systèmes de Learning Management System (LMS) nous semble être une évolution très intéressante en accord avec (Glotova and Zubkova, 2020; Firman, Muhsin and Goestina, 2021; Powers and Moore, 2023) pour répondre aux problèmes liés à l'organisation, au suivi et à la capitalisation des formations. En effet, ces outils ont les fonctionnalités nécessaires pour répondre à ces besoins.

Les questions formulées par notre panel du type « *qui va organiser la formation ? Qui va s'occuper du suivi ? Comment va être réalisé le suivi ?* » peuvent trouver une réponses opérationnelles grâce à ces outils. En effet, des exercices de formation immersifs (mais pas que) peuvent être mis à disposition des formés via ces systèmes communément appelés « plateforme LMS ». C'est généralement un logiciel qui permet de gérer une plateforme d'apprentissage en ligne. Il permet de diffuser les parcours de formations auprès des apprenants et de mettre en place des outils d'évaluation. Les principaux utilisateurs sont les apprenants, les formateurs et le service des RH. L'apprenant pourra se connecter à son compte et accéder à ses exercices en fonction de son avancement ce qui facilitera également le démarrage des applications par l'utilisateur. De plus, le formateur pourra à son tour se connecter sur son profil et aura accès aux résultats grâce aux outils de suivi mis en place basés sur des indicateurs qu'il aura définis.

Cette plateforme facilitera également le travail du service des RH pour le suivi du compagnonnage. En effet, cette plateforme offre la possibilité à l'apprenant de venir en salle de formation et d'accéder à son contenu sans la présence de son formateur ce qui peut réduire les coûts des formations.

Cette plateforme peut également répondre au besoin de gestion de la confidentialité puisque l'apprenant devra se connecter pour accéder au contenu qui lui aura été assigné. Ce sont des fonctions qui ne sont actuellement pas présente dans les modalités dans l'entreprise pilote.

Il nous semble également que des développements sont nécessaires dans la partie **Learning Content management system (LCMS)** pour permettre aux formateurs d'agir dans une certaine limite sur la création et ou modification de contenu de formation (Wang and Trigano, 2009; Kim and Moon, 2013). En effet, les LCMS sont des systèmes informatiques qui permettent de concevoir des parcours d'apprentissage. Aujourd'hui, il existe une offre de systèmes informatiques pour créer son propre contenu de formation immersive. Nous pouvons citer des exemples comme Dreamtime d'Inetume ou Skyreal. Ces solutions offrent la possibilité de développer un contenu de formation sans de grandes compétences en informatique. Ils proposent une plateforme de développement low-code c'est-à-dire qui fournit un environnement de développement pour créer un logiciel d'application via une interface utilisateur graphique. L'avantage de l'utilisation de ces solutions est que la création de contenu peut être faite en interne même si l'entreprise ne dispose pas d'un développeur et que le contenu peut être modifiable dans le temps. L'application est donc évolutive ce qui assure sa pérennité dans le temps. Cela permettrait de répondre aux besoins de réactivité vis-à-vis des évolutions concernant les formations de l'entreprise pilote. Certains services ont émis le besoin de faire évoluer

fréquemment leurs formations sur des postes d'assemblage qui concernent des produits dont la définition change régulièrement. C'est notamment le cas pour les connecteurs qui comportent un nombre de variantes important et un renouvellement fréquent de l'offre.

Cependant, même si ces outils de type LMS ou LCMS sont accessibles aujourd'hui, un autre **challenge consiste à régler le problème des compétences** nécessaires pour mener à bien la définition d'un parcours de formation. Encore plus dans le contexte du compagnonnage, les personnes interviewées font remonter leur manque de compétences sur le domaine de la didactique et de l'ingénierie pédagogique. Cela passe, selon nous, par de la montée en compétences lorsque les personnels sont ouverts à cette hypothèse ou encore des recrutements qui peuvent combler ces manques. Mais le besoin en compétences de bases en TI est également très prégnant. En effet, les services de l'entreprise pilote ont émis des craintes vis-à-vis de leurs compétences à ce sujet. Cela pourrait permettre de mieux appréhender ces formations pour les services.

Un autre défi consiste à proposer des expériences de formation qui soient réalisées dans un **continuum de moyens, de modalité, de temps, d'espace et de rôle le plus fluide possible**. En effet, il n'est pas rare de devoir commencer une formation sur le site de son entreprise avec un casque VR par exemple puis de continuer sur un site déporté (comme celui d'un constructeur de machine) avec un autre matériel pour ensuite reprendre son activité chez soi en télétravail depuis une tablette ou encore dans l'entreprise sur une machine réelle. De plus, on peut aussi commencer comme formé puis devoir par la suite devenir formateur pour les collègues à venir. Les systèmes de LMS et LCMS dédiés aux formations immersives doivent intégrer ces besoins.

Autre point concernant la gestion de la formation, **c'est la mise en place d'espaces dédiés à l'activité de formation**. En effet, cet espace servira à stocker le matériel (les différents casques disponibles) et de préinstaller le matériel pour un démarrage rapide. Cet espace pourra servir aux différentes formations. Cela pourrait répondre à la difficulté de l'entreprise pilote de la disponibilité du matériel de formation et leurs craintes au niveau organisationnel d'utiliser les TI pour la formation. Cependant, cela sous-entend qu'une personne doit être assignée pour s'occuper de la gestion du matériel et former les personnes qui vont être amenées à utiliser ce matériel dans un premier temps. A plus long termes, il nous semble qu'au-delà de la question des espaces dédiés, cela pose le besoin d'une structure à part entière de type « école de formation ». En effet, aujourd'hui le service RH n'est pas assez intégré dans l'ensemble des formations fournies au personnel de l'entreprise (compagnonnage par exemple) et structurer cette activité via une école de formation pourrait constituer une première étape pour répondre à cette difficulté.

ii. Vers des expériences de formation encore plus immersives, interactives et guidées :

Lors des entretiens, il nous a été confié que certaines formations étaient difficiles à réaliser car les apprenants ne peuvent pas être mis en situation réelle. Les TI sont typiquement reconnues pour permettre de combler ce manque. Grâce à l'utilisation des TI pour la formation, il sera plus facile de mettre en situation les apprenants en accord avec (Arnaldi *et al.*, 2018). On retrouve ici les avantages des TI que l'on peut transposer à l'entreprise pilote :

- Cela va permettre l'accès à du matériel ou à des zones inaccessibles.
- Il sera également possible de recréer des situations dangereuses sans mettre en danger l'apprenant pour l'entraîner en situation réelle.

- Pouvoir simuler le comportement d'un produit peut également être utilisé pour illustrer, par exemple, l'utilisation d'un produit, sensibilisant ainsi davantage l'apprenant à son utilisation et à son domaine d'application.
- Pouvoir simuler informatiquement du contenu pour sa formation permet donc de se décorrélérer moyens matériels de la formation.
- Il est également envisageable de préparer des formations en immersif et en amont de la réception du nouveau produit physique ou en amont d'une intervention. Le service montage en production a en effet ce besoin car ils attendent souvent que le produit arrive avant de devenir opérationnels. Ce type de formation est aussi totalement adapté pour les formations à distance lorsqu'en plus le formateur ne peut pas se rendre auprès des apprenants.
- Un autre avantage pour le formateur compagnon est que la mise en place d'une application immersive peut être aussi l'occasion de formaliser le contenu de la formation. L'application permettra d'uniformiser le contenu entre les différents compagnons et aussi de les aider s'ils ne se sentent pas suffisamment à l'aise pour former.
- Il a également été montré que l'utilisation des TI dans le cadre de la formation permet de la rendre plus attractive et donc cela améliorerait l'attention des apprenants.
- Cela pourrait même aller à attirer les personnes à venir en formation voir à postuler

Aujourd'hui les casques de réalité virtuelle que l'on retrouve dans le marché sollicite principalement la vue et l'ouïe de l'utilisateur. Afin de tendre vers des expériences plus interactives et immersives, on peut également proposer l'utilisation de dispositifs haptiques. L'haptique permet aux utilisateurs d'interagir avec un environnement et des objets virtuels avec un ressenti tactile (toucher). On le retrouve souvent dans les vibrations des manettes pour donner un feedback à l'utilisateur quand il interagit avec un élément de l'EV. De nouveaux dispositifs arrivent sur le marché pour immerger davantage l'utilisateur : des vestes pour faire ressentir le vent, les températures et avoir des vibrations sur le corps ainsi que des gants qui maintiennent la position des doigts pour avoir la sensation de tenir un objet dans la main. Ces dispositifs peuvent être utiles dans l'apprentissage comme par exemple ressentir le chaud lors d'une formation incendie ou apprendre des gestes métiers plus précis.

On pourrait aussi envisager l'utilisation de l'intelligence artificielle (IA) avec les TI qui permettra d'avoir un accompagnement plus personnalisé pour l'encadrement de certaines tâches de l'apprenant. Le contenu de la formation pourra également s'adapter par rapport aux compétences de l'apprenant. Les apprenants pourront être plus autonomes pendant la formation. La part la plus "essentielle" ou à plus grande valeur ajoutée pourrait demeurer du ressort du formateur, lui permettant ainsi de s'y consacrer plus efficacement. On peut imaginer des parcours de formations hybrides avec des parties sur le terrain avec le formateur, en salle avec le formateur puis des exercices en réalité virtuelle en autonomie. La mixité des supports et le changement de modalité de la formation permettra de conserver la motivation de l'apprenant pendant toute sa formation.

iii. Besoin d'un processus opérationnel pour la Conception collaborative multi-métier des applications de formation immersives

Les entretiens réalisés avec les différents services ont mis en avant une série de freins à l'intégration des TI pour former le personnel de l'entreprise Stäubli. Nous avons observé lors des entretiens un manque voire une demande d'aide méthodologique pour savoir comment concevoir ces formations. Le manque de compétences pour définir des parcours de formation adaptés de surcroît dans un contexte de formation immersive, la non-présence de ressources en interne

capables de conduire un projet de développement d'application immersive pour la formation, l'inadéquation entre les besoins spécifiques de l'entreprise et les solutions disponibles clé en main cristallisent selon nous un besoin de clarification du processus qui permet de passer d'un besoin de formation à une solution adaptée et opérationnelle en accord avec (Richir *et al.*, 2015).

Il ressort un besoin de mise à disposition de l'entreprise pilote d'un processus clair pour l'accompagner sur les différentes étapes qui permettraient d'aboutir à cela, confirmant les résultats de (Richir *et al.*, 2015). En effet, le processus de conception d'une formation utilisant les TI nécessite les connaissances de différents domaines : **l'ingénierie pédagogique, l'ergonomie, l'informatique** ; et une collaboration des « métiers » représentant ces disciplines dans l'entreprise lorsqu'ils sont présents. **L'entreprise pilote, et plus spécifiquement ses personnels qui n'ont pas les compétences adéquates, a besoin d'être guidée à travers un processus clair et outillé qui lui permette de prendre en main tout ou partie de tels projets en comprenant les activités réalisées par les différents métiers et leurs apports respectifs.** En effet, elle peut très bien réaliser tout le projet en interne ou en sous-traiter une partie mais elle doit être capable de contrôler l'ensemble du processus pour s'assurer que le résultat sera en adéquation avec ses besoins.

Ce besoin va dans le sens de nos objectifs de thèse : (i) **proposer** un modèle de processus de conception collaborative de Formation Professionnelle Immersive (FPI) centrée sur les utilisateurs et (ii) **assurer** sa mise en œuvre opérationnelle au sein des équipes de l'entreprise pilote Stäubli. Nous pouvons d'ores et déjà tirer de cette étude exploratoire des lignes directrices potentielles en réponse aux échanges effectués lors des focus group. Ainsi, le rôle de l'ingénieur pédagogique est de faire en sorte qu'il y ait une bonne adéquation entre le contenu de la formation et son besoin initial. C'est l'ingénieur pédagogique qui formalisera le contenu des formations et qui pourra réaliser un parcours de formation qui soit ludique mais pas perçu comme un jeu vidéo. Le rôle de l'ergonome est d'étudier l'activité de travail et de formation pour permettre d'intégrer les besoins et attentes des futurs utilisateurs. Son rôle est que l'application immersive puisse être perçue comme utile, utilisable et accessible par les futurs utilisateurs que sont les apprenants et les formateurs. Pour finir, le rôle du concepteur XR (informatique) est de traduire et créer le contenu informatique à partir de la demande de l'ingénieur pédagogique et de l'ergonome appuyée par les futurs utilisateurs. Nous suggérons également un autre rôle, celui du pilote projet. Cette personne devra s'assurer de la bonne conduite du projet, du respect des exigences du client. Il devra suivre les projets jusqu'à l'accompagnement du client lors de l'utilisation de son application.

7. Synthèse du chapitre

Grâce à notre étude exploratoire, nous avons pu constater que les services sondés expriment des besoins en matière de technologies immersives dans le cadre de leurs activités de formation. Ces technologies immersives peuvent contribuer à résoudre les difficultés auxquelles ils sont actuellement confrontés en ce qui concerne leurs programmes de formation, tout en les aidant à répondre à de nouveaux besoins émergents. Par ailleurs, notre étude exploratoire a révélé un besoin au sein des équipes de l'entreprise pilote en matière d'accompagnement méthodologique pour la conception de ce type d'application. Ces résultats confirment nos objectifs de thèse, en particulier la nécessité de développer un modèle de processus pour la conception de formations professionnelles immersives, sujet qui sera abordé dans le prochain chapitre.

Chapitre IV. Expérimentation initiale : proposition d'un premier modèle de conception de FPI

Le chapitre a fait l'objet de deux **communications dans le cadre d'une conférence nationale** :

BISSON I., MAHDJOUR M., ZARE M., GOUTAUDIER F., RAVIER F., SAGOT J.C. (2022) « PROPOSITION D'UN PROCESSUS DE CONCEPTION COLLABORATIVE DE FORMATION PROFESSIONNELLE IMMERSIVE : BILAN D'UNE EXPERIENCE INDUSTRIELLE DE TROIS ANNEES ». 30ème Colloque des Sciences de la Conception et de l'Innovation, Confere, 6-7 Juillet, Gêne, Italie, 10 p.

Et : BISSON I., MAHDJOUR M., ZARE M., BLUNTZER J.B., GOUTAUDIER F., RAVIER F., SAGOT J.C. (2021) « Cadre conceptuel appliqué à la conception de formation professionnelle immersive ». Colloque des Sciences de la Conception et de l'Innovation, Confere, 1-2 Juillet, Saint-Malo, France, 17 p.

Ainsi que de deux **communications dans le cadre d'une conférence internationale** :

Bisson, I., Mahdjoub, M., Zare, M., Bluntzer, J., Sagot, J., Goutaudier, F., & Ravier, F. (2022). Proposal of a Conceptual Framework for Collaborative Design of Immersive Professional Training: Application to the Textile Industry. *Proceedings of the Design Society*, 2, 111-120. doi:10.1017/pds.2022.12

Et : Bisson, I., Mahdjoub, M., Zare, M., Sagot, J., Goutaudier, F., & Ravier, F. (2022). Immersive professional training for the textile industry. In *EuroXR 2022 : Proceedings of the EuroXR Conference*. VTT Technical Research Centre of Finland, 2022.4. (VTT Technology; No. 408), Application track, doi:10.32040/2242-122X.2022.T408

Chapitre IV : Expérimentation initiale : proposition d'un premier modèle de conception de FPI

1. Objectif et contribution	55
2. Proposition du 1 ^{er} modèle de processus	56
a. Rappels de la littérature	56
b. Proposition	57
3. Expérimentation : Projet Ratière	61
a. Présentation de la formation existante	61
b. Application du processus de conception	62
i. Analyser le besoin	62
ii. Concevoir l'approche conceptuelle	63
c. Présentation de l'application de formation immersive au montage ratière	65
d. Evaluation du processus de conception :	67
i. Evaluation de l'UX et de la pertinence pédagogique avec des formés et formateurs de l'entreprise	68
Etat de l'art	68
Population	70
Matériel	70
Données recueillies	70
Procédure	71
Résultats	72
Etude 1 : Recueil des traces de la formation effectuée en environnement virtuel	72
Etude 1 : Questionnaire utilisateur	73
Etude 2 : Evaluation de l'utilisabilité	75
Conclusion	75
ii. Différence entre le prescrit et le réel au niveau des activités de conception	76
iii. Analyse complémentaire du modèle proposé	78
4. Bilan et préconisations	79

1. Objectif et contribution

Pour rappel, l'étude exploratoire du chapitre précédent a confirmé notre objectif visant à proposer un modèle de processus de conception de FPI afin de notamment guider les équipes de l'entreprise pilote.

Ainsi, ce chapitre servira principalement à alimenter notre deuxième contribution qui est :

C2 : Proposition et mise à l'épreuve d'une démarche permettant la conception collaborative de formation professionnelle immersive centrée sur les utilisateurs.

Dans les chapitres suivants, nous proposons (i) un premier modèle de processus de conception de FPI, (ii) son application à un projet de formation afin de le mettre à l'épreuve et (iii) enfin une évaluation du processus proposé.

2. Proposition du 1^{er} modèle de processus

a. Rappels de la littérature

Nous avons pu voir dans l'état de l'art que la conception de formation professionnelle immersive est au croisement de plusieurs domaines, plusieurs disciplines, et qu'il n'existe pas réellement de démarche unifiée qui regroupe les méthodes, outils et moyens de chacun.

Afin de réaliser une proposition de processus de conception collaborative de FPI, nous avons réalisé une sélection des articles de notre bibliographie selon différentes disciplines. Ainsi, sur 120 articles, nous avons gardé ceux relatifs aux TI (42 articles) et nous les avons classés selon les disciplines suivantes :

- Ergonomie (E) : articles traitant de TI dans le domaine de l'ergonomie et CCU
- Formation professionnelle (FP) : articles traitant de TI dans le domaine de la formation professionnelle et des Sciences de l'éducation
- Informatique (I) : articles traitant de méthodologie de conception de systèmes immersifs

Le résultat de ce classement est représenté dans un diagramme de Venn (Figure 10). Le diagramme représente les 3 disciplines retenues (ergonomie, formation professionnelle et informatique) à l'aide de cercles. Cette représentation sert à montrer les relations possibles entre ces groupes. C'est-à-dire que lorsque deux cercles se croisent alors cela implique que le sujet traite des deux groupes associés. Par exemple, le croisement entre le cercle « ergonomie » et « formation professionnelle » concerne les articles traitant d'applications immersives dans le domaine de l'ergonomie et de la formation professionnelle comme les travaux de Sisto en 2018 proposant un Serious Game en RV pour la prévention des TMS (Sisto *et al.*, 2018). De la même manière, au croisement des cercles « ergonomie » et « informatique », nous trouverons des articles traitant de la conception d'un système immersif dans un contexte d'ergonomie comme les travaux de Loup-Escande sur la méthode I2I « pour l'utilité » (Loup-Escande *et al.*, 2011). Les articles dans les ellipses « E, FP et E+FP » traitent d'articles impliquant l'intervention de différents acteurs métiers mais pas de recommandations concernant la manière de concevoir et/ou les recommandations pour apporter plus de collaboration entre eux. La partie aux croisements des trois cercles « E+FP+I » concerne les articles proposant des processus de conception intégrant les différents experts.

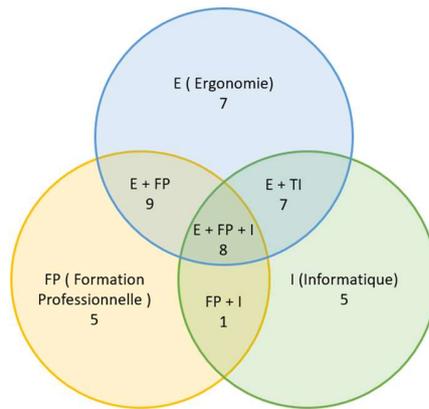


Figure 10 Articles référencés de la littérature que nous avons classifiés en fonction des disciplines relevant de l'ergonomie, de l'informatique et de la formation professionnelle

Sur la base de cette sélection d'articles, nous avons construit la proposition de processus présentée au chapitre suivant.

b. Proposition

Nous proposons de modéliser notre processus (Bisson et al., 2021) grâce au langage IDEF3. L'objectif d'IDEF3 est de fournir une technique structurée permettant d'exprimer sous forme graphique le savoir d'un ou de plusieurs experts d'un système, d'une organisation ou d'une activité particulière. Cela répond à notre besoin de modéliser la coordination, les phases de coopération et de collaboration entre les différents métiers impliqués. IDEF3 est basée sur la saisie des descriptions et des événements selon deux formes : un diagramme présentant l'ordonnancement des processus (schéma de processus) et un diagramme présentant les états successifs d'un objet (schéma de transition) (Bersier, 1995). La finalité est de permettre une synchronisation de l'ensemble des méthodes proposées aujourd'hui pour permettre une approche effectivement parallèle et coordonnée. Cette synchronisation des méthodes devra permettre aussi de spécifier le rôle de chaque métier dans le processus de conception.

Le premier schéma (Figure 11) représente notre processus à un niveau macroscopique. Nous retrouvons dans ce schéma les étapes principales qui composent le processus de conception de produit. Cela passe par des étapes classiques d'analyse du besoin jusqu'au retour d'expérience en passant par exemple par la phase de conception détaillée en accord avec les nombreux travaux dans le domaine (Clarkson and Eckert, 2010).

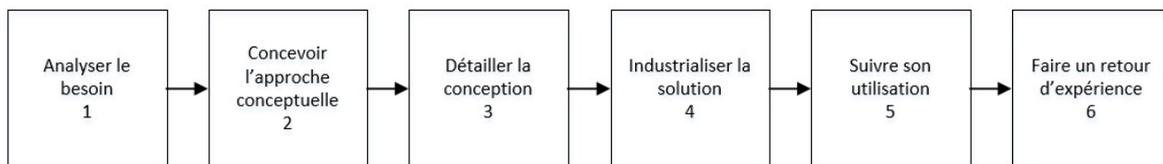


Figure 11 - Schéma du processus au niveau macroscopique

Dans le cadre de cette première proposition, nous nous sommes concentrés sur les deux étapes « **Analyser le besoin** » (Figure 12) et « **Concevoir l'approche conceptuelle** » (Figure 13) car ce sont les deux étapes qui concernent davantage l'entreprise. En effet, dans notre état des pratiques au sein de notre entreprise pilote, il ressort qu'aucune ressource interne ne travaille au développement d'applications immersives et que le besoin est plutôt orienté sur les phases amont.

Le schéma de processus de l'étape « Analyser le besoin » (Figure 12, repère (a)) a été construit à partir de la méthode I²I « pour l'utilité » de Loup-Escande en 2013 (Loup-Escande *et al.*, 2013) visant à mieux prendre en compte les caractéristiques et les besoins des utilisateurs dans le but de concevoir un artefact qui soit réellement « utile », c'est-à-dire en adéquation avec les besoins et attentes des utilisateurs. Les étapes 1, 2 et 4 de la méthode ont été reprises à savoir :

- **Recueillir les exigences des commanditaires** : phase durant laquelle les commanditaires évoquent leurs buts, attentes, souhaits et contraintes
- **Analyser les besoins des utilisateurs** : concerne l'évocation des besoins conscients par les utilisateurs et l'identification des besoins non-conscients chez les utilisateurs par l'analyse des situations de référence, c'est à dire des situations n'incluant pas le futur artefact
- **Concertation des commanditaires, des utilisateurs et des concepteurs** : vise à rassembler les différents acteurs du projet afin qu'ils construisent une représentation commune de ce que pourrait être le futur artefact

Ces étapes vont permettre de faire une analyse complète du besoin de la part des clients ainsi que des futurs utilisateurs qui sont les formés et les formateurs. C'est à partir de la concertation de ces deux besoins, qu'une première représentation commune du futur artefact sera faite. L'étape « Recueillir les exigences des commanditaires » (étape 1.1 Figure 12) sera effectuée par un pilote projet et celle de « Analyser le besoin » (étape 1.2 Figure 12) par un ergonomiste.

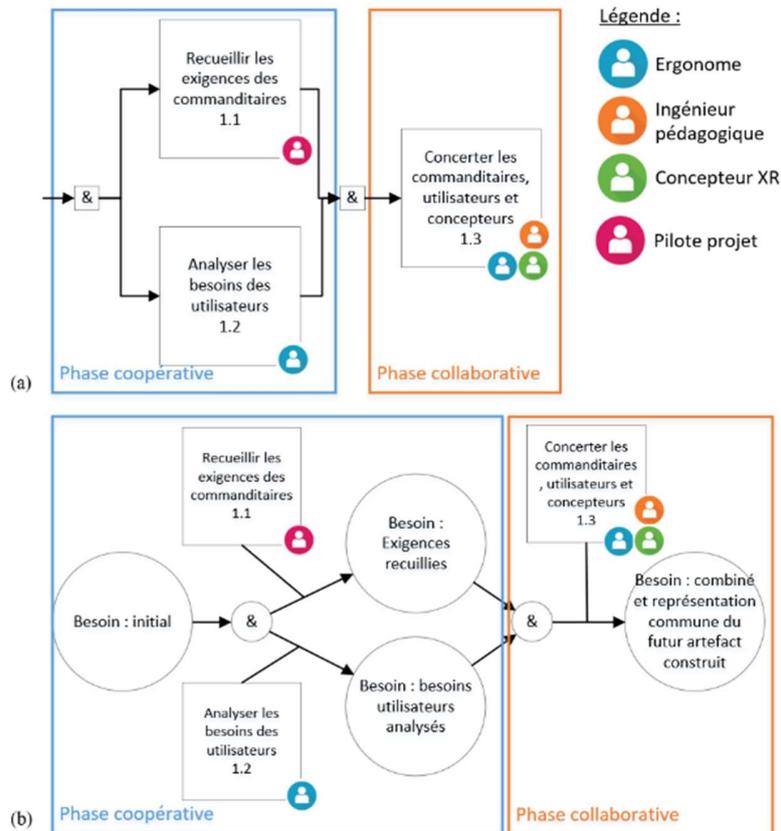


Figure 12 - Etape "Analyser le besoin" (a) schéma de processus (b) schéma de transition

Par le biais du schéma de transition (Figure 12 repère (b)), nous montrons les différents états du « besoin » à la suite de chaque étape. Ainsi, il passe de « l'état initial » à deux états, « Exigences recueillies » et « Besoins utilisateurs analysés », qui co-existent à travers deux tâches réalisées en parallèle avec les commanditaires et les utilisateurs (formés et formateurs). Enfin, une étape de travail qui se devra la plus collaborative possible (étape 1.3 Figure 12) permet d'obtenir une « représentation commune » du besoin.

Le schéma de processus de l'étape « Concevoir l'approche conceptuelle » (Figure 13) met en évidence les étapes de conception des différents acteurs (l'ergonome, l'ingénieur pédagogique et le concepteur XR) à réaliser en coordination. L'étape « Concevoir l'approche conceptuelle » vise à effectuer une analyse approfondie de l'activité de travail selon les différents points de vue des acteurs. Cette étape permettra également de prendre conscience des contraintes propres à leur domaine. De point de vue de l'ergonome, Boccara et Delgoulet (Boccara and Delgoulet, 2015) proposent que les situations de références à analyser soient le travail en production et le travail en formation (repères 2.1 et 2.4 Figure 13). Ces deux étapes doivent être conduites par l'ergonome ou la personne ayant des connaissances en ergonomie. L'ingénieur pédagogique doit lui aussi analyser la formation du point de vue pédagogique c'est-à-dire en relevant les objectifs pédagogiques et les modalités d'évaluations de la formation existante ou non (repère 2.2 Figure 13). Ces deux concepteurs pourront dès lors commencer à travailler ensemble en réalisant une co-analyse de la formation afin d'avoir une représentation commune de celle-ci (étape 2.5 Figure

13). Concernant le concepteur XR, il sera invité à observer le poste de travail et les activités de travail associées pour définir les contraintes techniques liées à son métier (étape 2.3 Figure 13) et pourra proposer un premier démonstrateur afin d'avoir un visuel de l'artefact (étape 2.6 Figure 13). Ensuite, nous proposons la 1ère étape de la démarche méthodologique de conception d'EV pour la formation tirée des travaux de Lourdeaux (Lourdeaux, 2001) qui consiste alors à **co-construire les objectifs pédagogiques immersifs**, c'est-à-dire transmis via l'application immersive, et comment ils seront évalués (étape 2.7 Figure 13).

Une fois l'étape de définition des objectifs pédagogiques immersifs définis, il s'agit de rédiger le scénario pédagogique de la future formation (étape 2.8 Figure 13).

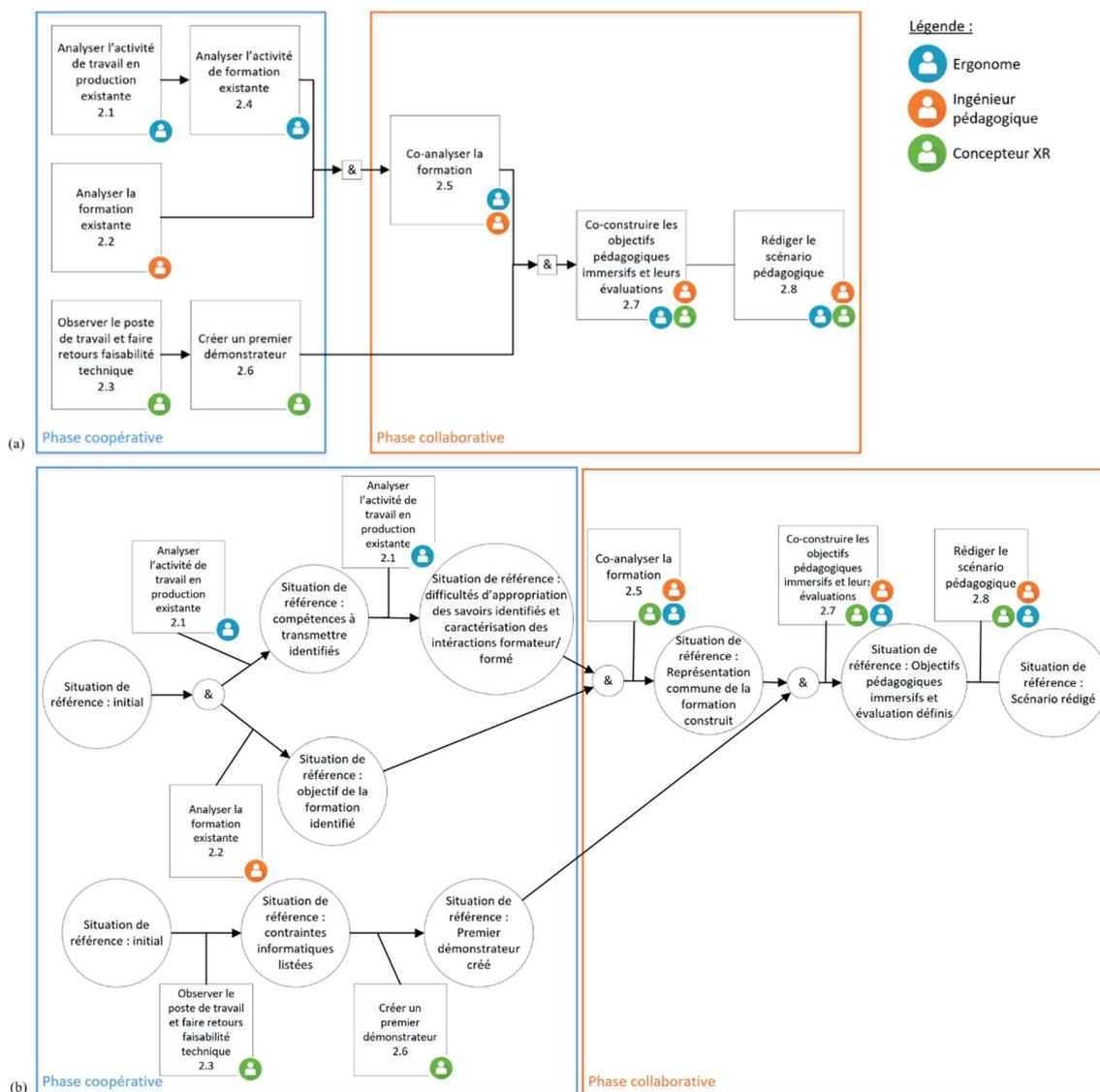


Figure 13 - Etape "Concevoir l'approche conceptuelle" (a) schéma de processus (b) schéma de transition

Pour l'étape « concevoir l'approche conceptuelle », par le biais du schéma de transition ((b) Figure 13), cette fois-ci nous montrons les différents états de la situation de référence c'est-à-dire notre activité de formation. De « l'état initial » il va passer à 5 états différents à travers 4 tâches réalisées par les différents acteurs. L'ergonome va faire passer la situation de référence à « Compétences à transmettre identifiés » puis à « Difficultés d'appropriation des savoirs identifiés et caractérisation des interactions formateur/formé ». L'ingénieur pédagogique va faire évoluer la situation de référence à « Objectifs de la formation identifiés ». Le concepteur XR fera évoluer la situation de référence initiale à « Contraintes informatiques listées » puis « Premier démonstrateur créé ». Ensuite, l'ergonome et l'ingénieur pédagogique, en travaillant ensemble, vont réunir deux états pour un former un seul qui sera « la représentation commune de la formation ». Après un travail collaboratif avec le concepteur XR, les deux états vont passer à un nouvel état qui est « objectifs pédagogiques immersifs et évaluation définis » puis finir sur un état « scénario rédigé ».

Afin de concevoir l'approche conceptuelle du système de formation immersif, nous avons proposé un processus intégrant les différents acteurs métiers tel que l'ergonome, l'ingénieur pédagogique et le concepteur XR. Les tâches qu'ils auront à réaliser seront, dans un premier temps, réalisées en collaboration et en coopération pour leur permettre de travailler individuellement. Ensuite ils travailleront ensemble dans l'objectif de construire la nouvelle formation à partir des données relevées en phase coopérative.

Dans la section qui suit, nous présentons la mise en œuvre de notre modèle de processus de conception via un projet de formation au sein de l'entreprise pilote.

3. Expérimentation : Projet Ratière

a. Présentation de la formation existante

Afin de tester notre modèle de processus, un projet de formation professionnelle a été choisi au sein de l'entreprise pilote. Il concerne la formation à la fabrication d'une partie des machines à tisser qui s'appelle la ratière (Figure 14). Sa fonction est de piloter les cadres pour former la foule (ouverture) et permettre l'entrecroisement des fils comme défini par l'armure (trame de tissage). Les lames de la ratière sont reliées aux cadres grâce à un système de transmission et le schéma est dicté à la machine grâce à un boîtier électronique. La ratière est une machine au montage très spécifique et sensible afin d'assurer la qualité de ses fonctions. Ce sont des machines qui « tournent » 7j/7 et 24h/24 et qui peuvent avoir une cadence de 1100 coups/min en tissage.



Figure 14 Un modèle de ratière

Stäubli rencontre des limites sur les modalités de la formation actuelle concernant le montage de la machine. Une des problématiques liées à la formation est la demande cyclique pour le secteur textile : il y a des périodes de basse activité où il y a peu de monteurs puis des hausses d'activité qui nécessitent du personnel qualifié pour monter les machines rapidement. Il y a alors une forte demande d'embauche et donc de formation.

De plus, le montage de ces machines étant réalisé par la même personne pendant plusieurs heures, cela nécessite l'apprentissage d'un nombre de connaissances et de compétences importants.

Un élément supplémentaire à prendre en compte est que la formation est aujourd'hui réalisée **sous forme de compagnonnage** pendant plusieurs semaines ce qui prive la production de ressources comme un poste de travail et un monteur expert. Un monteur expert va former un novice à fabriquer la ratière. La formation va durer environ trois semaines en fonction de la montée en compétence de l'apprenant. Pendant les premiers jours, le monteur expert va montrer à l'apprenant comment réaliser le montage. Ensuite et jusqu'à la fin de la formation, c'est l'apprenant qui va réaliser le montage en étant guidé par le formateur. Au fil du temps, le formateur interviendra de moins en moins jusqu'à ce que l'apprenant soit autonome.

Le temps de montage d'une machine est de plusieurs heures mais au début de la formation il faut compter une journée pour que l'apprenant termine de monter une machine. **La validation de la formation est réalisée de manière informelle.** Cela correspond au moment où le formateur juge que la formation est terminée et donc quand l'apprenant est apte à travailler seul. Le compagnonnage n'étant jamais réalisé par la même personne, la formation et l'évaluation restent très dépendantes des pratiques de chacun. Cela a pour conséquence que d'un formé à un autre, il risque d'y avoir des différences sur le contenu ou la manière de réaliser la formation.

Le montage des ratières a donc été choisi comme première cible afin mettre à l'épreuve notre proposition de processus. Cet exemple est clairement très représentatif du constat fait des pratiques de formations dans l'entreprise à savoir le compagnonnage.

b. Application du processus de conception

Nous avons eu différents rôles lors de notre participation à ce projet. Nous avons tenu le rôle de chef de projet ainsi que l'ergonome puisque ces ressources n'étaient pas accessibles. Cependant, nous n'avons pas d'ingénieur pédagogique à notre disposition au sein de l'entreprise pilote. Le commanditaire est le responsable des méthodes de production des produits textile. Le concepteur XR est une agence de développement d'application immersive (externe à l'entreprise).

i. Analyser le besoin

Le recueil des besoins commanditaire (étape 1.1, Figure 12) a été réalisé par le chef de projet. Après une première analyse du besoin des commanditaires de cette formation, nous avons décidé de ne passer qu'une partie du montage en RV pour éviter des exercices trop longs en RV. Ainsi, nous avons acté qu'en parallèle de la formation virtuelle, il y aurait toujours le compagnonnage avec un monteur expert.

Afin de choisir les tâches les plus adéquates à passer en immersif, une analyse du travail et de la formation a donc été conduite via des entretiens et des observations rapides du poste par le chef

de projet. Deux opérations ont donc été retenues : **le montage du couple conique et la synchronisation**.

Ce recueil a permis de découvrir certaines limites de la formation actuelle concernant l'assemblage de la machine :

- La formation s'effectue en compagnonnage avec un opérateur expert sur le poste de travail
- La durée de la formation est longue
- La demande d'embauche, et donc de formation, est cyclique pour le secteur textile

Les exigences initiales sont donc de pouvoir développer un outil d'aide à la formation qui libérera le formateur et le poste de travail, améliorant ainsi la qualité de la formation et réduisant le temps de formation.

L'étape 1.2 "Analyse des besoins des utilisateurs" (Figure 12) a été réalisée via une approche ergonomique avec un représentant des opérateurs afin de mieux comprendre leurs besoins. Après une présentation de l'environnement de travail, du processus d'assemblage et de formation, l'ergonome a pu enregistrer plusieurs plaintes concernant les difficultés rencontrées par l'opérateur expert au cours d'une session de formation :

- Pas de plan de formation accessible et peu de cohérence dans la manière de former les opérateurs
- Peu de confrontation à certains risques d'assemblage ou type de machine
- Peu de sensibilisation aux maladies professionnelles, car elles ne font pas partie du champ d'expertise des opérateurs

Cette analyse a permis de cibler certaines difficultés des utilisateurs qui n'étaient pas connues du commanditaire. Ces difficultés soutiennent les défis de ce projet.

La dernière étape de l'analyse des besoins consiste à "**Concier les commanditaires, les utilisateurs et les concepteurs**" (étape 1.3, Figure 12). Cette étape a permis de croiser les exigences du commanditaire et les besoins des utilisateurs pour déterminer les principaux objectifs de ce projet. La solution a débouché sur un outil d'assistance en RV qui complètera la partie accompagnement de la formation. C'est-à-dire que l'apprenant aura plusieurs exercices de réalité virtuelle au cours de sa formation. Cette application simulera une partie de l'assemblage, **ce qui permettra à l'apprenant d'être plus exposé au travail et de rencontrer des dangers, ce qui est peu fréquent pendant la formation par compagnonnage**. Cet outil aidera également les opérateurs **en standardisant les connaissances transmises**. Pendant que l'apprenant est en formation, l'instructeur est libéré. En améliorant la qualité du programme de formation, le temps de formation peut potentiellement être réduit.

ii. Concevoir l'approche conceptuelle

L'étape "concevoir l'artefact conceptuel", comme expliqué ci-dessus, vise à approfondir l'analyse de l'activité selon les différents points de vue des parties prenantes (ergonome, ingénieur pédagogique et concepteur de XR). Chaque partie prenante travaillera d'abord de manière coopérative (individuellement), puis en collaboration.

Commençons par le point de vue de l'ergonome. Nous avons réalisé ces étapes car la compétence n'était pas présente au sein de l'entreprise pilote. Pour analyser l'activité de travail

(étape 2.1, Figure 13), de nombreuses informations ont été collectées, notamment des captures vidéo de l'opérateur au travail et des données sur l'environnement de travail (bruit, température, lumière, disposition).

Pour analyser l'activité de formation (étape 2.4, Figure 13), des entretiens ont été menés avec sept opérateurs/instructeurs afin de connaître leur approche du plan de formation (flexibilité, opinions et difficultés rencontrées). Le guide d'entretien (cf. annexe 2) traitait des sujets suivants : profil de l'apprenant, du plan de formation, des problèmes liés à la formation. Les réponses aux entretiens ont permis de consolider et de compléter l'analyse des besoins (étape 1.2, Figure 12).

L'étape 2.2, "Analyse de la formation existante" (Figure 13) a été réalisée **par le chef de projet à la place de l'ingénieur pédagogique (compétence non présente dans l'entreprise pilote)**. Les données relatives à la formation ont été collectées à partir de la chaîne de montage. Elles servent de cadre au compagnon, **étant donné qu'il n'existe pas de plan de formation accessible**.

En même temps, **le concepteur de XR** doit "observer le poste de travail et fournir un retour d'information sur la faisabilité technique" (étape 2.3, Figure 13). Cette étape a été réalisée lors d'une consultation avec les sous-traitants. Ces derniers représentaient les concepteurs XR. Ils ont été invités à observer l'environnement de travail et l'opération à reproduire en réalité virtuelle.

Pour l'étape suivante, "Créer un démonstrateur" (étape 2.6, Figure 13), nous ne l'avons pas réalisée, mais nous avons pu tester les applications des sous-traitants avec des caractéristiques et un contexte similaire. Cela a permis aux membres du projet de se représenter une future vision de l'activité future de formation et de l'application finale.

Ces phases de coopération terminées ; la phase de collaboration peut maintenant commencer. L'étape "Co-analyser la formation existante" (étape 2.5, Figure 13) a été réalisée à partir des informations collectées lors des étapes 2.2 et 2.4 (Figure 13). Le chef de projet a pu croiser ses données avec celles liées à l'ergonomie afin de construire une représentation commune de la formation (profil du formateur et de l'apprenant, déroulement de la formation, les objectifs pédagogiques à transmettre, et difficultés liées à la formation).

Les discussions avec les sous-traitants ont permis de discuter des objectifs pédagogiques à transmettre et de la méthode pour les évaluer (étape 2.7, Figure 13). Les objectifs pédagogiques proviennent des besoins et objectifs du projet mais dépendent des objectifs de la formation. Les objectifs pédagogiques qui ont été définis sont que l'apprenant doit :

- Être capable de réaliser un réglage du couple conique
- Être capable de réaliser une synchronisation

Afin d'aller plus loin dans le projet, un premier scénario pédagogique (étape 2.8, Figure 13) a été rédigé afin de consulter les sous-traitants sur le coût et le temps de développement. Ce scénario pédagogique a été rédigé par le chef de projet à partir des données de l'analyse des activités et de la co-analyse de la formation. Le scénario (Figure 15) est composé d'une série de tâches traduites en interaction avec le même vocabulaire que celui utilisé par le concepteur de XR. Le scénario fourni est complété par des vidéos de l'activité, les outils utilisés et les résultats à la suite de l'interaction.

Nb	Timing	Tasks	Interaction	Details	Tool 1	Tool 2	Results
				Reglage de la table.mp4			
1	00:00	Adjust the height of the station	Trigger contrôlé (WIP)	Press the up-down pad to lower or raise the table and right-left to turn it			Movement of the support
Q1				Why is it important to adjust your workstation?			
				Modulator adjustment.mp4			
2	00:00	Put the hammer down	Trigger	Position the hammer to self-centre the bevel gear	Hammer	None	
3	00:03	Set up the tool to turn the modulator	Put	Take the tool gear and position it on the dobbie	Tool gear	None	1/4 turn handwheel rotation + bevel gear + blades
Q3				Why should the tool gear be used?			
4	00:11	Remove the tool to turn the modulator	Put	Take the tool gear and hold it in your hand or put it down	Tool gear	None	

Figure 15 Extrait du scénario envoyé au concepteur XR

Les étapes 2.7 et 2.8 (Figure 13) ont été développées une fois que le sous-traitant a été choisi pour le reste du projet. Les critères de sélection étaient le coût et le temps de développement. Le projet a ensuite atteint le stade du prototype (Figure 16). Le prototype VR a été développé avec le logiciel Unity et l'application fonctionne avec Steam VR. Pour le casque VR, nous utilisons le HTC Vive pro avec deux contrôleurs.



Figure 16 Poste de travail à gauche, Prototype VR au milieu et formé en VR à droite

c. Présentation de l'application de formation immersive au montage ratière

Dans cette partie, nous allons présenter le résultat de l'application du processus c'est-à-dire l'application en réalité virtuelle qui a été développée pour la formation au montage des ratières.

L'objectif de l'application pour les apprenants est de les aider dans leur apprentissage du montage d'une ratière. Les objectifs pédagogiques sont **d'être capable de réaliser le réglage du couple conique et d'être capable de réaliser la synchronisation**. L'objectif du projet pour l'entreprise est de : **rééquilibrer le temps de mobilisation du poste de travail et du formateur, formaliser le savoir à transmettre et son évaluation, sensibiliser à l'utilisation des outils mis à disposition, à la qualité et suivre la progression de l'apprenant**.

Il y a deux exercices possibles dans l'application :

- **Le premier exercice** consiste à réaliser le réglage d'un engrenage conique de la machine. Une mesure entre deux pièces est prise à la suite du montage. Si cette mesure est hors tolérance alors une cale d'épaisseur doit être ajoutée ou retirée pour ajuster le jeu entre

deux pièces. En général, en situation de compagnonnage, le réglage est bon et ne nécessite pas de démontage, un apprenant ne va réaliser que très peu de fois le démontage de la machine pour ajuster le réglage (en moyenne trois fois pour une quinzaine de machines montées). Grâce à la réalité virtuelle, les apprenants pourront s'entraîner à réaliser autant de fois que nécessaire le réglage jusqu'à le maîtriser. Il y aura plusieurs scénarios avec différents jeux entre les deux pièces car en fonction du jeu il ne faut pas apporter la même correction.

- **Le deuxième exercice** consiste à synchroniser les lames avec un arbre à cames. L'objectif est de faire répéter la procédure car une majorité des apprenants n'arrivent pas à comprendre le fonctionnement de la synchronisation et donc à retenir les opérations associées.

L'application fonctionne sur un ordinateur couplé avec un casque HTC Vive Pro. L'utilisateur utilise deux manettes pour interagir avec l'environnement virtuel. **L'interaction principale est de pouvoir attraper un outil avec sa main virtuelle et de le positionner au bon endroit pour que l'opération associée à l'outil puisse se jouer en automatique.** L'environnement virtuel représente l'environnement de travail des opérateurs c'est-à-dire leur poste de travail dans une usine avec à disposition tous les outils qu'ils utilisent pour assembler une ratière. Il va devoir réaliser environ 150 interactions via les deux exercices.

L'environnement virtuel offre également un mode intégrant des questions. Ainsi, deux modes sont possibles pour réaliser les exercices :

- **Un mode découverte** : pour chaque opération qu'il doit réaliser, l'apprenant aura une assistance qui pourra lui indiquer l'outil à utiliser et son utilité. Sur un tableau, il est également indiqué quelle action il doit réaliser. Ce mode va permettre de guider l'apprenant dans les tâches qu'il a à faire mais aussi de découvrir « ses libertés » dans l'application.
- **Un mode entraînement** : une fois que les opérations et l'application sont prises en main, l'apprenant n'a plus de système de guidage. Il réalise les opérations en autonomie. Il a cependant la possibilité de demander une aide s'il est bloqué.

Ce que voit l'apprenant est retransmis sur un ordinateur pour que l'animateur puisse observer. A la fin de l'exercice, le formateur aura accès au temps pris par l'apprenant, au nombre de réponses fausses si les questions étaient activées, s'il a mis ses EPIs et réglé en hauteur son poste de travail virtuel.

La formation en réalité virtuelle se déroule théoriquement sur 3 semaines avec une alternance de sessions de formation sur le poste avec le compagnon et de sessions en réalité virtuelle (Figure 17). Ainsi la première semaine, l'apprenant passe tout son temps sur le poste réel pour se familiariser avec son environnement de travail, ses outils et la ratière. La deuxième et la troisième semaine, il alterne compagnonnage et sessions en virtuelle sur le modèle : une session VR de deux heures tous les deux jours ce qui fait six sessions en tout. Pendant les sessions VR, il pourra réaliser une ou plusieurs fois les exercices.

La deuxième semaine de formation (c'est-à-dire quand il va commencer les sessions de formation en réalité virtuelle) l'apprenant sera en mode découverte. La troisième semaine il réalisera les exercices en mode entraînement.



Figure 17 – Nouveau plan de formation pour la formation au montage des ratières

d. Evaluation du processus de conception :

Dans les chapitres précédents, nous avons proposé un processus de conception de formation professionnelle immersive. Nous avons ensuite appliqué ce processus à un projet au sein de l'entreprise pilote. Il convient maintenant d'évaluer notre proposition de modèle de processus de conception.

Dans cette partie, nous proposons d'évaluer **dans un premier temps le résultat du processus, c'est-à-dire l'application qui a été conçue** (Figure 18). L'objectif est de vérifier si le modèle de processus a permis de répondre correctement au besoin. Dans un deuxième temps, nous évaluerons le processus à partir **de l'étude de la différence entre le prescrit** (les étapes du processus) **et le réel** (les étapes effectivement réalisées) et de plusieurs autres critères connexes. (Heisig, Clarkson and Vajna, 2010a)

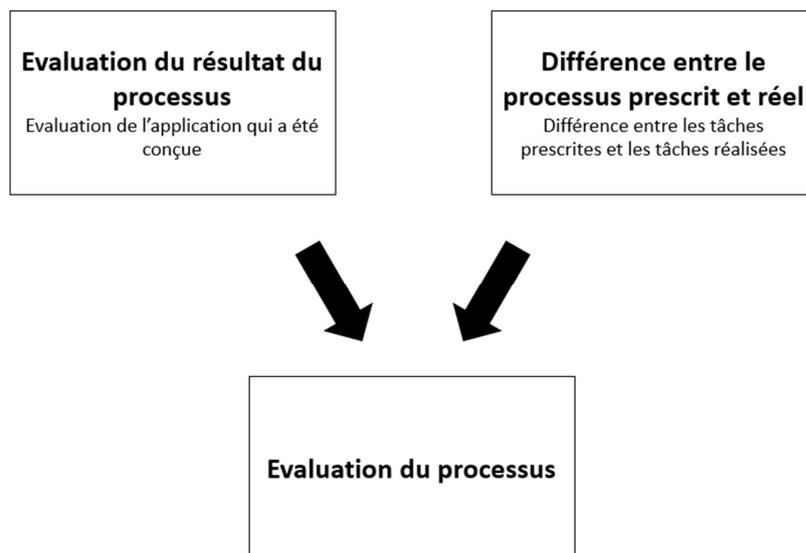


Figure 18 - Etudes réalisées pour évaluer la proposition de modèle de processus de conception de FPI

i. Evaluation de l'UX et de la pertinence pédagogique avec des formés et formateurs de l'entreprise

Etat de l'art

Dans un contexte général d'évaluation d'une application immersive, Tcha-tokey en 2018 (Tcha-Tokey, 2018) a construit et validé un questionnaire d'expérience utilisateur à partir de certains composants clé. Elle propose d'évaluer les items : **présence, engagement, immersion, flow, compétences ; émotion, utilisabilité, adoption de la technologie, jugement et conséquence de l'expérience**. Elle a construit son questionnaire à partir de questionnaires existants comme le Presence Questionnaire (PQ), l'Immersive Tendency Questionnaire (ITQ), le Flow4D16, le System Usability Scale (SUS), le Computer Self-efficacy Scale (CSE), l'Achievement Emotions Questionnaire (AEQ), le Simulator Sickness Questionnaire (SSQ), l'Attrakdiff 2 et le Unified Technology and Use of Technology (UTAUT).

Shin et al en 2013 (Shin, Biocca and Choo, 2013), proposent d'évaluer huit composants qui caractérisent l'UX dans un Environnement Virtuel d'Apprentissage Humain (EVAH) : **le flow, la présence, l'immersion, la confirmation, l'intention d'utiliser, l'utilité perçue, la facilité d'utilisation perçue et la satisfaction**.

Horeau en 2007 (Hoareau, Ganier and Devillers, 2007) et Ganier en 2013 (Ganier, Hoareau and Devillers, 2013), ont vérifié comment se déroule l'apprentissage d'une procédure en EV pour des opérations de maintenance de chars. Les données recueillies **sont des mesures objectives du comportement** (temps de réalisation de la tâche, nombre et durée de consultation des instructions, nombre d'actions incorrectes) et **des mesures subjectives de la charge mentale** (Nasa-TLX). L'expérience s'est déroulée sur deux séances au terme d'un délai d'une semaine entre les deux séances. D'autres travaux de Horeau en 2013 (Hoareau et al., 2013), évaluent l'utilité d'un EV pour l'apprentissage d'une procédure. Ils ont réalisé deux expériences, la première consistait à réaliser deux sessions avec une semaine de délai entre les deux sessions pour vérifier le stockage en mémoire à long terme de la procédure et la deuxième expérience consistait à comparer deux types de formation (traditionnelle et en EV) pour étudier le transfert de cette procédure à une situation réelle. Plusieurs données ont été recueillies pour ces expériences. Dans la première il s'agit du **temps total de réalisation de la procédure, le nombre de consultations des instructions et le nombre d'erreurs**. Pour la deuxième expérience, les données recueillies portent sur **le succès de réalisation de la tâche dans un temps imparti, la durée totale de réalisation de la procédure, la durée de consultation du document technique, le nombre d'appels à l'aide auprès d'un technicien et le nombre d'interventions spontanées du technicien**.

Cormier en 2013 (Cormier, 2013) a conçu un simulateur pour former des apprenants à l'implantologie dentaire à l'aide d'un dispositif haptique. L'objectif était de montrer l'intérêt d'une formation en réalité virtuelle par rapport à une formation traditionnelle et de démontrer que les apprentissages réalisés dans l'EV peuvent être réutilisés en situation réelle. Pour cela, il a comparé les performances d'un groupe recevant une formation traditionnelle à celle d'un groupe formé en réalité virtuelle. Pour comparer les performances des deux groupes, **il a réalisé des mesures, à l'aide d'un scanner, de la position de l'implant lors de sa pose**.

Bracq en 2019 (Bracq et al., 2019), étudie l'acceptabilité et l'utilisabilité d'un simulateur de compétences procédurales en réalité virtuelle à l'aide du modèle UTAUT (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology model). Ce simulateur a été conçu pour former des infirmières de bloc. **L'objectif était de prédire son utilisation future grâce à la motivation et à l'intention**

comportementale, d'anticiper les obstacles à son adoption, et in fine d'optimiser sa conception.

Taupiac en 2019 (Taupiac et al., 2019) évalue un outil de formation immersif avec un **entretien libre de 5 à 10 minutes sur l'expérience**. Ensuite il évalue la pertinence de conception de l'outil immersif avec un **questionnaire utilisateur et IPQ** (Igroup Presence Questionnaire). Il évalue également la pertinence pédagogique avec un **questionnaire sur l'expérience d'apprentissage** et observe **plusieurs traces** : le nombre d'erreurs commises, le nombre de répétition nécessaires afin d'atteindre un sans-faute et le temps d'utilisation. Il compare les résultats avec un groupe de contrôle qui n'utilise pas l'outil de formation immersif.

Nous pouvons observer qu'il est possible d'évaluer une formation immersive de manière objective et subjective. L'analyse objective consiste à **observer les traces** laissées par l'apprenant dans l'environnement virtuel, c'est-à-dire des inscriptions temporisées et informées d'un évènement observé (Baudouin et al., 2007). Les traces vont permettre de décrire les activités des apprenants, observer si les objectifs ont été atteints et les difficultés qu'il a rencontrées. Ils peuvent être sous forme de vidéos, audios ou données informatiques directement enregistrées par l'environnement virtuel. **L'analyse subjective** va être réalisée par le biais de questionnaires et d'entretien qualitatif. Plusieurs questionnaires sont déjà existants et validés en fonction des items à évaluer. Les évaluations, objectives ou subjectives, peuvent être conduites (i) par comparaison entre experts et novices, (ii) en pré ou post formation, (iii) pour comparer formation traditionnelle et réalité virtuelle et (iv) étudier le transfert d'apprentissage du virtuel au réel.

Deux composantes sont observées pour l'évaluation d'un environnement virtuel pour la formation ; **(i) la pertinence pédagogique et (ii) l'expérience utilisateur**. La pertinence pédagogique va permettre d'observer l'impact de l'environnement virtuel sur l'apprentissage et l'expérience utilisateur, qui d'après D.Norman (Norman and Draper, 1986) couvre tous les aspects de l'expérience d'une personne avec un système. Elle est le résultat de l'interaction entre l'utilisateur, le système et le contexte. L'utilisabilité d'une application a un lien avec l'efficacité d'apprentissage, par exemple Lee et al. (2010) ont découvert que la fidélité de la représentation et l'immédiateté du contrôle (c'est-à-dire les fonctionnalités de la réalité virtuelle) étaient directement et indirectement liées à un certain nombre de résultats non cognitifs (par exemple, la motivation, la présence, l'utilisabilité, etc.), qui affectaient à leur tour les résultats cognitifs des élèves. Ainsi, dans notre cas, il est important de s'assurer que cette application sera facile à prendre en main par les futurs mécaniciens formés au sein de l'entreprise pilote.

En synthèse, une évaluation de notre application sera réalisée sur les aspects d'expérience utilisateur et de pertinence pédagogique. Pour cela, nous allons mener :

- Etude 1 : Nous avons étudié l'application pendant la formation de nouveaux entrants selon le déroulement présenté précédemment (cf. Figure 17 p.67).
- Etude 2 : Pour confirmer les retours des nouveaux entrants, nous avons également mené une deuxième étude auprès de personnes extérieures de l'entreprise pilote pour évaluer l'utilisabilité de l'application. Cette évaluation a donc pour objectif de mettre en perspective les retours subjectifs des opérateurs qui ont été formés avec l'application.

Dans la suite du document, nous présentons les participants, le matériel utilisé et le protocole expérimental **selon la distinction « Etude 1 » et « Etude 2 » pour faciliter la lecture**. Nous terminons avec la présentation des données recueillies et les résultats.

Population

- **Etude 1** : Six sessions de formation ont été étudiées. Cela représente six apprenants et cinq formateurs. Les apprenants ont entre 20 et 39 ans. Ils possèdent tous au moins un diplôme en mécanique ou électrotechnique (BEP ou baccalauréat professionnel). Ils ont également tous déjà eu une expérience professionnelle (alternance ou entreprise). Leur ancienneté dans l'entreprise varie entre une semaine et dix mois. Pour ceux qui étaient là depuis plus d'une semaine, ils étaient attribués à d'autres postes avant d'arriver au poste de montage ratière. Un seul des apprenants a une expérience avec les outils de réalité virtuelle.
- **Etude 2** : Concernant l'évaluation de l'utilisabilité, la population est composée de 31 personnes (9 femmes et 22 hommes). 73% des testeurs ont moins de 25 ans, 15% entre 25 et 35 ans, 9% entre 36 et 45 ans et 3% a plus de 55 ans. Parmi ces testeurs 87% sont étudiants (70% des testeurs sont en école d'ingénieur) et 13% ont un statut d'employé. 58% des testeurs avaient déjà eu une expérience avec la RV avant le test.

Matériel

- **Etude 1** : Les séances de formation se déroulaient dans une salle mise à disposition par le service informatique de l'entreprise pilote avec le matériel pour faire fonctionner l'application. **Un guide d'entretien** a été conçu pour évaluer l'application à la fin de la formation par les apprenants selon deux thèmes : l'expérience utilisateur et le ressenti d'apprentissage avec pour chacun des sous-catégories (Annexe3 p.182). Les questions du guide d'entretien sont tirés des travaux de Tcha-Tokey en 2008 (Tcha-Tokey, 2018) et Shin en 2013 (Shin, Biocca and Choo, 2013).
- **Etude 2** : Pour l'évaluation de l'utilisabilité, Les exercices se déroulaient dans une salle mise à disposition à l'Université de Technologie de Belfort Montbéliard. Comme la précédente expérimentation, nous avons utilisé un ordinateur sur lequel était installée le logiciel de simulation et le visiocasque HTC VIVE PRO permettant d'immerger les utilisateurs dans l'EV. Nous avons également utilisé une caméra pour filmer les passations. Deux questionnaires ont été conçus pour l'évaluation de l'expérience utilisateur :
 - Un premier pour définir le profil du participant (Annexe 4 p.183)
 - Un deuxième pour évaluer l'utilisabilité de notre application à la fin de de l'expérimentation (Annexe 5 p.184). Il est composé des items retenus pour la méthode d'évaluation du score SUS (Lallemand, Gronier and Dugué, 2018) et d'autres items : présence, flow, conséquence de l'expérience et immersion .

Données recueillies

- **Etude 1** : Pour cette étude, nous avons recueilli plusieurs traces lors des exercices de l'apprenant. Il s'agit des exercices réalisés (exercice 1 et/ou 2, avec ou sans questions, en mode découverte ou entraînement) et le temps pris pour les réaliser. Nous avons également recueilli les réponses à l'entretien.

- **Etude 2** : Pour l'évaluation de l'utilisabilité, les données recueillies pour ces études sont les réponses aux deux questionnaires.

Procédure

- **Etude 1** : la première étude (avec les formés de l'entreprise) s'est déroulée en six séances pour les six apprenants suivant le déroulement théorique de la formation (cf.3.c Présentation de l'application de formation immersive au montage ratière p.65). Dans un premier temps nous leur avons demandé de réaliser les deux exercices sans les questions pour qu'ils puissent découvrir l'application. Ensuite ils avaient la possibilité de choisir les exercices à réaliser et l'activation des questions en fonction de ce qu'ils souhaitaient travailler. A la fin des six séances, les apprenants et leurs formateurs ont répondu aux questions du guide d'entretien.

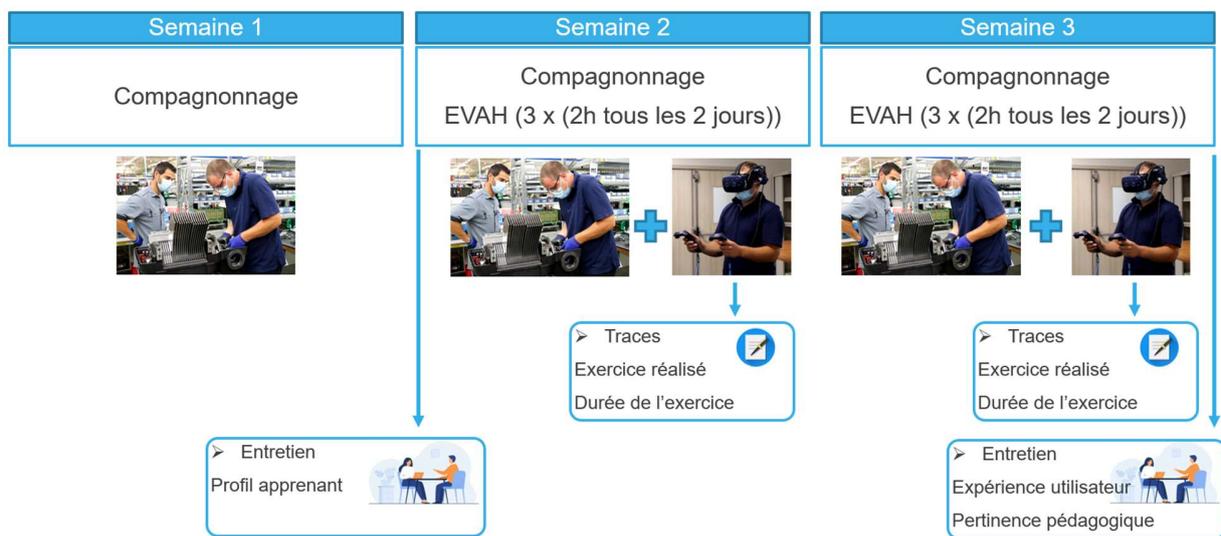


Figure 19 – Procédure de test

- **Etude 2** : L'évaluation de l'utilisabilité s'est déroulée en une séance pour chacun des 31 participants. Pour des questions de contraintes de temps, ils n'ont pas suivi le déroulement théorique de la formation (cf. 3.c Présentation de l'application de formation immersive au montage ratière p.65). Dans un premier temps, les participants devaient répondre au premier questionnaire pour définir leur profil et leurs connaissances en réalité virtuelle. Après un briefing, le participant est invité à utiliser l'application et à réaliser le premier exercice qui porte sur le réglage du couple conique. A la fin de l'exercice, le participant était amené à remplir le questionnaire pour évaluer l'utilisabilité de l'application.



Figure 20 – Utilisation de l'application

Résultats

Etude 1 : Recueil des traces de la formation effectuée en environnement virtuel

Lors de cette évaluation nous avons observé combien de fois l'apprenant a réalisé les opérations sur le poste en compagnonnage et en réalité virtuelle (cf. Tableau 4).

Catégories	A1	A2	A3	A4	A5	A6	Moyenne
Nombre de machines entièrement montées pendant la formation réelle	8	9	12	15	12	13	12
Démontage du palier en compagnonnage	2	2	5	7	1	2	3
Démontage du palier dans l'application	8	8	8	8	7	7	8
Somme : démontages de palier réalisés	10	10	13	15	8	9	11
Synchronisation réalisée en compagnonnage	8	9	12	15	12	13	12
Synchronisation dans l'application	6	6	7	6	6	5	6
Somme : synchronisations réalisées	14	15	19	21	18	18	18

Tableau 4 - Réalisation des opérations de montage en réel et en immersif (Ai = Apprenant numéro i)

Nous pouvons observer que grâce à l'application, certains apprenants ont pu s'entraîner davantage au démontage du palier. En effet, en moyenne, ils ont démonté trois paliers en situation compagnonnage. Il faut d'ailleurs noter que 4 apprenants sur 6 ont démonté au plus deux fois le palier. En situation réelle, ils ont en moyenne démonté 8 fois le palier. S'ils n'avaient pas pu effectuer les exercices via l'application, certains auraient réalisé le démontage du palier que très peu de fois sur leur poste (plus de deux fois moins).

Concernant la synchronisation, l'opération est réalisée systématiquement lors du montage d'une machine en compagnonnage. Lors des sessions immersives, les apprenants n'ont pas effectué plus de synchronisation qu'en réel mais cela leur a offert davantage de temps pour s'y former seul.

Etude 1 : Questionnaire utilisateur

Le questionnaire utilisateur (Annexe 2), nous a permis d'obtenir les résultats suivants concernant les formés au sein de l'entreprise. Nous décrivons les résultats selon les items du questionnaire.

Immersion de l'utilisateur

D'après le retour des utilisateurs, ils ont pu se concentrer sur la tâche plutôt que de réfléchir aux manettes. Les interactions sont devenues très rapidement naturelles comme un prolongement d'eux-mêmes. L'environnement est fidèle à leur poste de travail ce qui leur a permis de se prendre au jeu en oubliant qu'ils se trouvaient physiquement dans la salle de formation. Ils ont pu s'immerger dans l'environnement à tel point que, par exemple, tous ont eu envie de s'appuyer sur l'établi virtuel.

Expérience utilisateur

Utilisabilité

Selon les utilisateurs, l'application a été facile à utiliser et la prise en main est très rapide. Les interactions demandées sont claires et compréhensibles. Concernant l'apprentissage, ils ont trouvé que le mode découverte ne les a pas aidés à apprendre. Le système de guidage montre comment réaliser les étapes donc ils ne les ont pas forcément retenues. Selon eux, l'application est plus adaptée sans le guidage, en mode entraînement. Ils pensent tout de même que le guidage est nécessaire pour prendre en main l'application et comprendre sur quoi l'utilisateur peut agir ou non. Il va également permettre de guider l'apprenant dans des tâches qu'il ne connaît pas (démontage du palier) s'il ne l'a pas encore effectué pendant sa formation.

Emotion

Les utilisateurs sont satisfaits de leur expérience dans l'application. Les plaintes reçues concernent des problèmes techniques qui ont nécessité un redémarrage et qui les ont fait sortir de l'apprentissage. Une autre plainte évoquée par la majorité des utilisateurs concerne la marge de manœuvre dans la manière de travailler. Lors de la semaine N°2, ce n'est pas forcément gênant car le mode découverte les guide dans les étapes à réaliser étant donné qu'ils sont encore en apprentissage. Cependant en semaine N°3, les apprenants ont pris des habitudes de travail avec leur formateur en situation réelle et ces dernières peuvent, sur certains points, ne pas correspondre aux étapes préconisées par l'application. Plusieurs personnes ont été frustrées de se retrouver bloquées à une étape en ne sachant pas pourquoi. En effet, ils suivent le mode opératoire qui leur semble correcte vis-à-vis de ce qu'ils ont vu en situation réelle alors que l'application attend une autre opération. Cela a pu, par la suite, les désorienter dans le mode opératoire.

Intention d'utiliser

Selon les utilisateurs, en fin de formation, ils ne pensent pas avoir besoin d'utiliser à nouveau l'application car ils se sentent à l'aise sur leur poste mais ils le recommandent aux personnes arrivant sur le poste.

Confirmation

Une seule personne avait vécu une expérience de réalité virtuelle. Les autres ne connaissant pas la technologie, ils n'avaient pas d'attente concernant l'application. Certains craignaient que l'application ne fonctionne pas correctement. Finalement, l'expérience a été meilleure que celle qu'ils avaient imaginée. Une personne espérait approfondir la compréhension de la synchronisation mais ça n'a pas été le cas. En effet, elle attendait de pouvoir obtenir des informations complémentaires justifiant la manière de réaliser cette opération de montage.

Cyber-malaise

La majorité des utilisateurs ont ressenti une fatigue visuelle. Cette fatigue disparaît rapidement après les exercices et apparaît souvent en début de formation ou après une utilisation trop longue du casque, par exemple quand l'exercice dure plus de trente minutes. Un utilisateur a également ressenti une douleur dans la nuque du fait de n'avoir pas réglé en hauteur son poste de travail dans l'application.

Expérience

L'un des points positifs, selon eux, est le fait de pouvoir répéter une même procédure car cela n'est pas faisable à l'atelier. En effet, ils doivent attendre de terminer une pièce avant de commencer une nouvelle fois la même procédure. Ils vont également pouvoir davantage se concentrer sur la tâche sans se soucier du temps ou de ce qu'il se passe autour d'eux. Ils apprécient également de réaliser la formation en dehors de l'atelier pour éviter le regard des autres personnes. Le fait de ne pas risquer de dégrader la machine est également évoqué par les apprenants. De plus, l'application leur a permis de voir une autre manière d'opérer, plus générale et de devoir respecter la procédure de montage surtout concernant des points importants comme les contrôles. Ils ont également apprécié le fait d'être confrontés à des scénarios représentant des situations rares à l'atelier et donc de mieux les reconnaître ou moins les appréhender en situation réelle. Ça leur permet également de se poser les questions sur l'action corrective qu'ils doivent réaliser pour faire le réglage. Concernant les points négatifs, plusieurs ont trouvé qu'il y avait trop d'exercices dans l'application à réaliser pendant la formation et qu'il était nécessaire d'intégrer plus de marge de manœuvre dans certaines étapes.

Pertinence d'apprentissage de l'utilisateur

Flow

Les utilisateurs ont trouvé que la difficulté était adaptée à leurs compétences, c'est-à-dire commencer avec le guidage pour découvrir l'application puis passer en mode entraînement. Cependant ils ont trouvé que trois séances en mode découverte était trop. Ils ont préféré le mode entraînement pour apprendre. Comme évoqué, certains étaient tout de même désorientés à la suite des questions, ils ne savaient plus ce qu'ils étaient en train de faire. Cela les forçait à utiliser l'aide pour reprendre le mode opératoire dans le bon ordre. Selon eux, ils maîtrisent leurs actions.

Utilité

Les utilisateurs ont trouvé l'application utile car il permet de répéter les opérations du réglage du couple conique et de la synchronisation si un apprenant rencontre des difficultés à les maîtriser. Les différents scénarios permettent de rencontrer des cas rares qu'ils ne voient pas toujours

pendant la formation et la répétition leur permet de réaliser plusieurs fois l'opération. L'application permet d'apprendre le déroulement des actions et de sensibiliser à l'utilisation de certains outils, réaliser les contrôles et voir d'autres manières de travailler. Pour eux, ça peut également plaire aux publics qui aiment jouer aux jeux vidéo.

Confiance en soi

Les utilisateurs se sont sentis plus compétents et plus confiants suite à la réalisation des exercices. Cela est encore plus souligné par un des apprenants qui avait des difficultés à comprendre la synchronisation.

Ressenti d'apprentissage

Concernant leur ressenti d'apprentissage, il leur est difficile d'identifier si certaines étapes sont plus facile à apprendre grâce à la réalité virtuelle car en parallèle des exercices ils continuaient le compagnonnage. Mais l'exercice les a aidés dans la compréhension des étapes.

Engagement

Les utilisateurs se sont sentis impliqués dans l'application.

Etude 2 : Evaluation de l'utilisabilité

À la suite du test de l'application sur un panel diversifié (no représentatif des opérateurs de l'entreprise pilote), les résultats du questionnaire montrent un score moyen de 80,89/100 au SUS ce qui signifie que l'utilisabilité est bonne (cf. Figure 21).

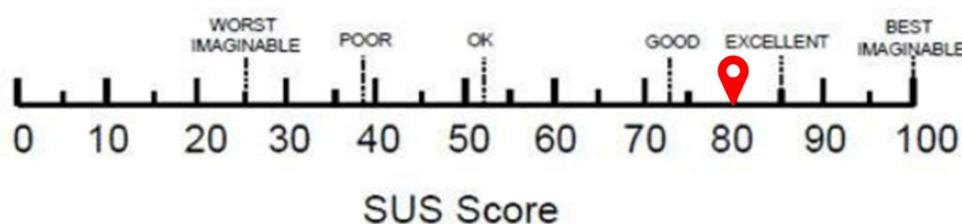


Figure 21 – Position de l'application (en rouge) au sein de l'échelle SUS

Cela permet de confirmer que les retours subjectifs des formés et formateurs concernant l'expérience utilisateur et la pertinence pédagogique n'ont pas été influencés par une mauvaise utilisabilité. De plus, nous constatons également que l'application développée est en accord avec les objectifs de notre processus à savoir développer des applications adaptées aux utilisateurs.

Conclusion

L'objectif était de valider la bonne expérience utilisateur et la pertinence pédagogique de l'application.

Dans cette étude nous avons analysé les réponses des apprenants lors d'un entretien à la fin de leur formation. Les résultats montrent que l'application est facile à prendre en main et agréable à utiliser par les formés de l'entreprise pilote.

Ils ont également trouvé l'application utile pour s'entraîner aux réglages de la machine. Cependant, il a souvent été reproché à **l'application d'être trop « restrictive »** dans la manière de travailler. Nous avons pu observer que la manière de travailler préconisée par l'application n'est pas entièrement fidèle à ce qu'ils apprennent en compagnonnage. En effet, **en fonction des formateurs, il peut exister une différence dans l'ordre des opérations de montage par exemple**. Ceci s'explique par le fait que nous avons analysé la manière de travailler d'un seul opérateur et que nous n'avons pas pris en compte les manières de travailler des autres opérateurs. En effet, le temps de développement du projet était court et nous n'avons pas eu le temps d'approfondir l'analyse de l'activité de montage des ratières. Ici, l'application remplit tout de même son rôle de **rappel du mode opératoire théorique à suivre**. Effectivement, pour certains contrôles, il est essentiel que l'opérateur respecte les consignes de la gamme de montage même si à d'autres moments il peut être libre de réaliser certaines étapes dans l'ordre qu'il souhaite.

Cela pose la question de l'intégration des marges de manœuvre dans la définition du mode opératoire en immersif (Ouellet, 2013). Cependant, montrer une autre manière de travailler a permis aux opérateurs de prendre conscience des libertés qu'ils peuvent avoir dans le travail.

Malgré le temps de formation supplémentaire à l'opération de synchronisation, plusieurs apprenants nous ont fait part de leur difficulté à retenir les opérations de la synchronisation car ils ne comprennent pas pourquoi il faut la réaliser. Le manque d'un ingénieur pédagogique dans le groupe projet ne nous a pas permis de chercher d'autres manières de former l'apprenant. Nous sommes restés fidèles à la manière de former en compagnonnage. Notre application a donc encore des manques à ce niveau. De futurs ajouts à l'application pourraient potentiellement apporter des réponses à ces problèmes.

Des niveaux supplémentaires pourraient être ajoutés afin de challenger davantage l'apprenant. En effet, pour certains apprenants, les compétences étaient rapidement assimilées et proposer des éléments complémentaires serait un point positif.

Dans notre étude, l'application a uniquement été évaluée par un entretien avec les apprenants. Si elle constitue une première approche, **elle pourrait être complétée avec des analyses de la montée en compétence des apprenants sur leur poste en les comparant à un groupe témoin c'est-à-dire qui sont formés sans l'application**. Cependant, l'évaluation de la montée en compétence est difficile à mettre en place à cause des contraintes de l'atelier de production :

- Peu de personne à former,
- Ne réalise pas tous le même nombre de couple conique sur la machine,
- Pas la même expérience de départ,
- Ne veulent pas tous réaliser les mêmes exercices.

Enfin l'application étant adoptée par les utilisateurs, il serait intéressant d'observer l'implantation de la solution du point de vue des futurs animateurs c'est-à-dire des agents de maîtrise en production.

ii. Différence entre le prescrit et le réel au niveau des activités de conception

Nous évaluons le processus via l'analyse entre le prescrit et le réel. Pour cela, nous avons tenu un tableau de bord pour suivre les tâches qui ont été réalisées par rapport à ce qui était préconisé dans le processus.

Concernant l'étape : Analyser le besoin « A1 » :

Les tâches préconisées ont bien été réalisées :

- Recueillir les exigences des commanditaires « 1.1 »
- Analyser les besoins des utilisateurs « 1.2 »
- Concerner les commanditaires, utilisateurs et concepteurs « 1.3 »

Cependant, nous avons pu observer d'autres étapes que nous avons dû réaliser dans l'entreprise pilote :

- Visiter l'environnement de travail
- Réaliser un benchmark
- Planifier le projet
- Définir les personnes qui allaient participer au projet et leurs contraintes
- Définir un budget pour le projet

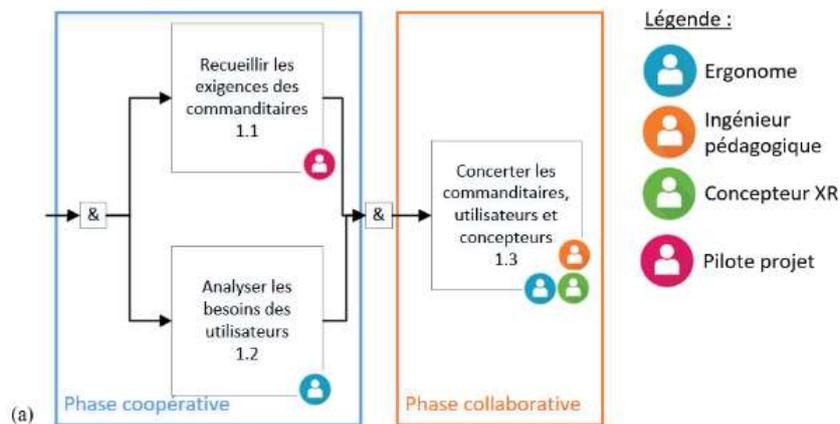


Figure 22 - Etape "Analyser le besoin"

Etape : concevoir l'approche conceptuelle « A2 » :

Les tâches de l'étape « concevoir l'approche conceptuelle » ont également été toutes réalisées :

- Analyse de l'activité de travail en production « 2.1 »
- Analyse de l'activité de formation (en partie vu qu'il n'y avait pas de formation en cours pendant l'analyse. Nous avons surtout récupéré des informations sur la formation) « 2.4 et 2.2 »
- Observer le poste de travail pour faire un retour sur la faisabilité technique « 2.3 »
- Co-analyser la formation « 2.5 »
- Co-construction des objectifs pédagogiques et de l'évaluation « 2.7 »
- Rédaction du scénario pédagogique (qui a en revanche été réalisée très rapidement pour trouver un prestataire) « 2.8 »

Cependant, il n'y a pas eu de création d'un premier démonstrateur « 2.3 » puisqu'il a fallu attendre de choisir le prestataire et de lui fournir un scénario pédagogique pour qu'il puisse faire une première proposition. Nous nous sommes contentés de démonstrateurs sous la forme

d'anciennes applications déjà développées par les prestataires pour illustrer les solutions potentielles.

Les étapes qui nous ont manqué dans ce processus sont

- Choisir un prestataire (qui peut être fait dans l'étape Définir le besoin)
- Définir le profil des utilisateurs
- Définir le cahier des charges
- Définir le nouveau plan de formation
- Valider la séquence pédagogique avec le commanditaire

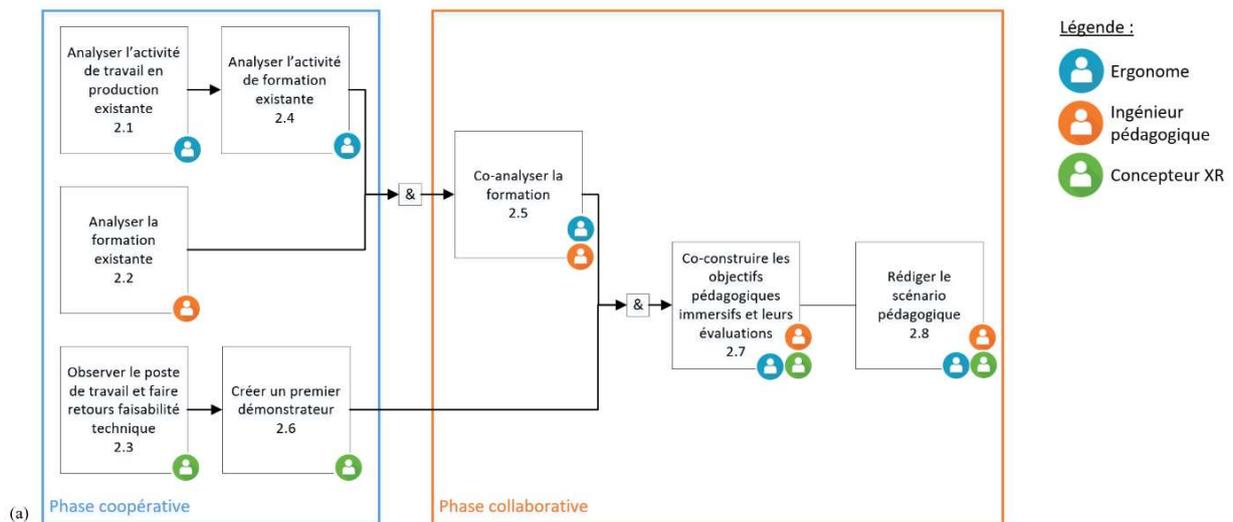


Figure 23 - Etape "Concevoir l'approche conceptuelle"

iii. Analyse complémentaire du modèle proposé

Malgré les résultats positifs recueillis auprès des utilisateurs de l'application et des tests d'utilisabilité, nous avons constaté un blocage dans l'intégration de l'application dans le plan de formation de la part de l'atelier de production. En effet, ce service n'était pas à l'origine de la demande et n'a pas pu être consulté suffisamment en amont pour être intégré pleinement au projet.

Ensuite il manquait des ressources « experts ». En effet, les personnes qui ont participé sont un chef de projet, un référent technique et un concepteur XR qui est externe de l'entreprise. Il faut donc pouvoir leur expliquer ce qu'ils doivent réaliser comme tâche.

Un échange spécifique avec le concepteur XR sur la démarche mise en œuvre a permis de compléter et confirmer certains retours :

- Selon lui, les différentes manières de travailler et l'absence de plan de formation a complexifié la compréhension du projet qui est de haute technicité.
- Lors de la proposition du scénario, les vidéos et la gamme de montage n'étaient pas suffisantes pour compléter le scénario fourni. En effet, il a exprimé des difficultés pour se

représenter l'activité sachant que les deux étaient souvent en contradiction. Le fait que l'analyse de l'activité n'ai pas été assez approfondie a accentué cette difficulté.

- Selon lui, le temps de projet « trop court » a demandé de réaliser certaines tâches en simultané « déjà réfléchir à un scénario donc figer l'application ». Cela l'a empêché de participer à la co-conception. Il a également fait remarquer que les « temps de décision étaient longs » et qu'il manquait la participation du référent technique lors des échanges.

4. Bilan et préconisations

En appliquant notre première proposition de modèle de processus de conception de FPI à un projet concret de l'entreprise pilote, nous avons pu mettre en évidence certains points pour l'amélioration et l'évolution de notre proposition.

Des tâches ont été réalisées en plus de celles définies par notre proposition initiale. Le chiffrage, la planification, la définition des rôles de chacun dans le groupe projet sont par exemple des étapes qui n'avaient pas été indiquées et qui ont eu un impact sur la manière de mener le projet et le résultat (l'application).

Des tâches ont été réalisées de manière différente par rapport à ce que nous avons prescrit. En effet, nous avons réalisé certaines étapes sans l'ensemble des acteurs qui avaient été définis initialement et d'autres ont été réalisées avec plus de rôles que prévu. Dans le premier cas, cela a été pénalisant car nous avons pris des décisions dans l'urgence sans consolider les conséquences potentielles. Nous pouvons prendre l'exemple **de la génération du scénario** de formation immersif qui a été défini très en amont pour des raisons de délai du projet. Dans le deuxième cas cela a permis de compléter l'approche en prenant en compte d'autres points de vue.

Des tâches prescrites n'ont pas été mises en œuvre. En effet, les objectifs pédagogiques ont été définis en amont du projet sans réel travail collaboratif comme demandé par notre modèle. L'analyse de l'activité de formation n'a pas non plus été réalisée à cause du manque de personnes à former au moment du projet. L'activité de génération du scénario de formation immersif a très largement pâti de ces manques avec (i) des difficultés de compréhension des attentes liées au scénario de la part du concepteur XR et (ii) des limites dans sa facilité de collaborer avec le responsable du projet.

Des rôles demandés par notre modèle ont également manqué à la bonne conduite du projet. Dans notre cas, l'ingénieur pédagogique était représenté par le chef de projet et le travail du concepteur de XR était effectué par un sous-traitant. En effet, nous n'avions pas de ressource spécialisée en didactique et cela a pu pénaliser la réalisation des étapes associées. Nous pouvons également ajouter que nous n'avions pas intégré toutes les parties prenantes du projet telle que le service « maîtrise » qui s'est avéré être l'un des utilisateurs principaux de l'application. En effet, c'est le service qui gère la réalisation de la formation ratière et donc de fait la mise en place des modalités de formation associées. Le fait de ne pas les avoir intégrés a notamment eu un impact sur le blocage pour la mise en œuvre de l'application. Ce manque, que nous expliquons en partie par notre inexpérience de l'organisation de l'entreprise au début de nos travaux aurait pu être évité avec plus de connaissances sur ce point.

Nous avons également identifié des étapes à ajouter :

- L'une de ces étapes est la définition d'un plan de formation (s'il n'existe pas) ; une autre étape est la recherche d'un sous-traitant, car elle influence la définition du besoin.
- Cependant, nous devons également trouver un moyen d'impliquer le concepteur de XR - sans avoir à définir le scénario avant la définition du projet - afin de conserver une certaine flexibilité dans le projet, ou de remplacer le concepteur de XR par un non-expert disposant de lignes directrices.
- Dans l'analyse de la formation, nous pourrions également inclure des lignes directrices pour expliquer ce que l'ingénieur pédagogique devrait faire, comme filmer l'interaction entre un formateur et un apprenant pendant un cours de formation, et mener des entretiens avec les apprenants en formation. L'analyse de l'activité a permis d'observer uniquement les opérateurs et les formateurs, mais pour une étude complète, il est nécessaire d'approfondir l'analyse de l'apprenant, qui est aussi un des utilisateurs.

Vis-à-vis de ce bilan, nous formulons les préconisations suivantes pour faire évoluer notre modèle et la manière de le mettre en œuvre.

Préconisation 1 : Il est nécessaire de modifier notre premier modèle pour prendre en compte les éléments du bilan ci-dessus.

- Pour adapter les étapes A1 et A2 aux observations faites dans le bilan précédent.
- Pour donner plus de détails sur la manière de réaliser certaines tâches
- Pour spécifier plus clairement les acteurs concernés par les différentes tâches du projet : en modifiant peut-être le formalisme de représentation de notre modèle actuel (IDEF3).

Préconisation 2 : Il est également nécessaire de travailler sur différentes manières de faciliter le travail des membres « non-experts » de ce type de projet.

- En palliant le manque de ressources humaines « expertes » :
 - En fournissant par exemple des supports de travail adapté à des membres du projet « non-expert ». Nous pensons notamment à la partie didactique.
 - Mais plus globalement, notre modèle de conception ayant vocation à être opérationnel au niveau de Stäubli, nous devons anticiper les autres manques de ressources qui ne sont pas initialement présentes dans l'entreprise.

Préconisation 3 : Il est également nécessaire de travailler sur différentes manières de faciliter le travail collaboratif sur certaines étapes du modèle de conception. Cette préconisation vient confirmer la nécessité d'étudier notre deuxième hypothèse :

- **H2 : « Dans le cadre du modèle de conception qui sera proposé, il est possible de définir l'ensemble des phases de convergence et les moyens de les faciliter ».**

Ici nous proposons de nous focaliser sur **la génération du scénario de formation immersif**. Pour cela nous devons améliorer la phase de définition des scénarios pédagogiques. Selon (Charlier, Daele and Deschryver, 2002), un scénario pédagogique est " le résultat du processus de conception d'une activité d'apprentissage, processus qui se déroule sur une période donnée et qui conduit à la mise en œuvre du scénario. Ainsi, un scénario comprend des objectifs, une planification des activités d'apprentissage, un calendrier, une description des activités des apprenants, des modalités d'évaluation qui sont définies, disposées et organisées au cours d'un

processus de conception". Un scénario pédagogique permet aux formateurs-concepteurs de structurer le contexte d'apprentissage et de l'organiser dans l'environnement virtuel et dans le temps.

(Marfisi-Schottman *et al.*, 2009) proposent de formaliser les différentes étapes de la conception d'un jeu sérieux en décrivant les acteurs, les outils et les documents utilisés. Ils proposent également un système de partage de modèles d'activités génériques et d'outils d'édition. Pour l'édition de scénarios, ils proposent comme première étape d'extraire les connaissances du "domaine cible" par un scientifique cognitif et un ou plusieurs experts du domaine cible pour formaliser les connaissances et le savoir-faire. Une fois formalisés, l'expert pédagogique identifie les connaissances principales et définit les objectifs pédagogiques. Ensuite, les objectifs éducatifs sont scénarisés.

(Abed *et al.*, 2016) se concentrent principalement sur la conception de scénarios pédagogiques pour les formateurs en formation continue et professionnelle. Certaines des formations qu'il a conçues utilisent les technologies de l'information. Il propose une approche méthodologique de la gamification pour la création du scénario. Cependant, son approche suppose que les formateurs disposent d'un contenu existant tel qu'un cours, une séquence d'activités d'apprentissage, etc. C'est généralement le cas dans la formation initiale ou continue. Par conséquent, le processus de gamification n'est pas un processus de création mais un processus de transformation.

(Oubahssi *et al.*, 2018) proposent au début de son processus que les concepteurs-enseignants expriment leurs besoins en fonction de leur contexte d'apprentissage à l'aide d'un modèle de scénario pédagogique orienté RV. Dans un premier temps, ils demandent aux enseignants de formaliser leurs besoins à l'aide d'une approche basée sur des modèles. Ils suggèrent ensuite de créer des scénarios pédagogiques qui définissent une séquence orchestrée d'activités pédagogiques. Ils proposent un éditeur de scénario orienté RV avec lequel l'enseignant dialogue.

Tous ces travaux traitent de la génération de scénarios, mais ils supposent souvent que les concepteurs-enseignants ont déjà défini les situations d'apprentissage. Ils ne parlent pas de la phase en amont, qui consiste à générer des idées pour définir les objectifs et le contenu pédagogique. Plusieurs travaux suggèrent d'impliquer le concepteur enseignant dans la tâche de scénarisation afin de formaliser le contenu. Aucun n'implique les parties prenantes, comme le formateur professionnel, qui n'a généralement pas de compétences pédagogiques (Boccaro and Delgoulet, 2015). Leur difficulté réside non seulement dans la transformation du scénario pédagogique mais aussi dans sa création. De plus, ces travaux n'abordent pas le fait qu'ils ne sont pas familiers avec les technologies de l'information et qu'ils rencontrent des difficultés à les utiliser. Il leur est donc difficile d'imaginer ce que pourrait être la situation d'apprentissage dans un contexte virtuel. Pour permettre de mener à bien les points de rencontre entre les différents acteurs, nous pourrions proposer l'utilisation d'OIC (Jeantet *et al.*, 1996a) dans le processus. Ils sont connus pour leurs caractéristiques de médiation, de transformation et de représentation (Boujut and Blanco, 2003) qui sont des instruments parfaits pour la coordination ou la coopération des acteurs de la conception. Ils facilitent la convergence entre différentes disciplines ou professions afin de guider et d'agir pendant le processus de conception. Les objets intermédiaires sont des représentations intermédiaires du futur produit tout au long du projet dès les premières étapes de la conception (Jeantet, 1998a). Initialement, la notion d'objet intermédiaire est apparue dans le cadre d'une recherche sur l'étude des réseaux de coopération scientifique dans le domaine de la santé (Vinck, 1992). Dans les années 90, à l'initiative de Serge Tichkiewitch et d'Alain Jeantet au sein du laboratoire G-SCOP, sociologues et mécaniciens se sont associés pour

développer des recherches sur les processus et les outils de conception (Jeantet *et al.*, 1996a). Dans ce contexte, la notion d'OIC a été reprise et utilisée dans le domaine de la conception de produits pour analyser les activités de conception (Vinck and Jeantet, 1995; Jeantet *et al.*, 1996a; Vinck and Laureillard, 1996; Vinck, Jeantet and Laureillard, 1996). Le processus de conception produit de nombreux OIC qui peuvent différer d'un produit à l'autre, mais aussi d'une organisation à l'autre. Ces objets comprennent tous les artefacts produits et mobilisés au cours du processus de conception. Ils peuvent être immatériels (modèles numériques de CAO, prototypes virtuels, logiciels, etc.) ou matériels (dessins techniques, textes, modèles physiques, etc.) (Jeantet *et al.*, 1996a; Boujut and Blanco, 2003). Les objets intermédiaires de la conception sont identifiés comme des vecteurs de communication qu'il devient de plus en plus pertinent d'étudier dans le contexte de la conception intégrée (TICHKIEWITCH, 1994; Tichkiewitch, 1997; Tichkiewitch and Brissaud, 2000).

Boujut en 2003 (Boujut, 2003) a identifié trois caractéristiques principales des OIC pour la coordination ou la coopération des acteurs de la conception :

- La médiation : Les OIC jouent un rôle de médiation dans le processus de conception du produit car ils transfèrent les intentions d'un acteur à d'autres acteurs.
- Transformation : la création d'OIC indique également l'évolution inhérente au processus de conception.
- Représentation : Les OIC représentent tout ou partie de l'identité du produit.

Les OIC doivent être modifiables au sens de (Broberg, Andersen and Seim, 2011) dans son expression " objet en devenir ", que nous entendons comme " un objet qui se construit dans l'action ou en collaboration ". Cette expression utilisée pour les objets frontières peut être utilisée pour les OIC et reflète le constat suivant : selon Broberg, les OIC " ne viennent pas tout faits ". L'objectif est que l'OIC soit plus interactif avec les concepteurs afin qu'ils puissent le faire évoluer (par des modifications, des évaluations, des annotations, etc.)

Appliqué à notre contexte, l'approche par OIC pourrait trouver une utilité dans l'étape de génération des scénarios. En effet, pour notre application, le scénario a été rédigé en détaillant les interactions de l'application ce qui a été apprécié par le sous-traitant pour faciliter la définition du coût de développement de la solution. En effet, il listait l'ensemble des interactions nécessaires à la réalisation de l'activité de montage des ratières mais en se focalisant sur les éléments de besoin du concepteur XR. Il pourrait être amélioré en prenant en compte les besoins et les outils de l'ergonome, du didacticien, mais aussi ceux du concepteur de XR, afin qu'ils disposent d'un document commun sur lequel travailler ensemble. On pourrait également imaginer un OIC pour faciliter les interactions avec les commanditaires, et avoir une représentation du futur produit afin de s'assurer de leur adhésion au projet.

Le prochain chapitre se propose de traiter de ces préconisations.

Chapitre V. Série d'expérimentations : Proposition d'un deuxième modèle de conception de FPI

*Ce chapitre a fait l'objet d'une **communication dans le cadre d'une conférence internationale** : Bisson, I., Mahdjoub, M., Zare, M., Goutaudier, F., Ravier, F., Sagot, J.-C. (2023) 'Effect of Intermediary Object Use during Collaborative Design Activities of Immersive Applications: Focus on Professional Training Application', in Proceedings of the International Conference on Engineering Design (ICED23), Bordeaux, France, 24-28 July 2023. DOI:10.1017/pds.2023.156*

Chapitre V : Série d'expérimentations : Proposition d'un deuxième modèle de conception de FPI

1. Objectifs et contributions	85
2. Proposition du 2 ^{ème} modèle de processus de conception de FPI	85
3. Application n°1 du modèle : Formation à distance	95
a. Objectif expérimental	95
b. Demande de l'entreprise pilote	95
c. Application du 2 nd processus de conception de FPI	96
d. Evaluation du processus de conception	99
i. Résultat du processus	99
ii. Différence entre le prescrit et réel	101
e. Discussion	104
f. Conclusion	105
4. Application n° 2 du modèle : Chasse aux risques	106
a. Objectifs visés	106
b. Contexte	106
i. Demande de l'entreprise	106
ii. Etapes précédant la génération du scénario	107
c. Etude de l'impact des OICs pour la génération des scénarios	108
i. Définition et construction des deux OIC retenus pour l'expérience	108
ii. Participants	110
iii. Equipement	110
iv. Procédure	110
v. Données recueillies	111
vi. Résultats de l'étude	112
d. Evaluation du processus de conception	114
i. Evaluation du résultat obtenu	114
ii. Différence entre le prescrit et le réel	115
e. Discussion	118
i. Etude phase de travail collaboratif de réalisation des scénarios	118
ii. Etude de notre deuxième proposition de processus de conception de FPI	119
f. Conclusion	120
5. Application n°3 du modèle de conception : Ratière V2	120
a. Objectif expérimental	120
b. Demande de l'entreprise	120
c. Application du 2 nd processus de conception de FPI	121

d.	Evaluation du processus de conception.....	124
i.	Résultat du processus.....	124
ii.	Différence entre le prescrit et le réel.....	126
e.	Discussion.....	129
6.	Synthèse.....	130

1. Objectifs et contributions

Pour rappel, à la suite du chapitre « 4.Bilan et préconisations p.79 » de l'expérimentation initiale de notre premier modèle de processus de conception de FPI, nous proposons :

- Une nouvelle itération de notre modèle de processus. Elle sera mise à l'épreuve dans le cadre de trois nouveaux projets.
- D'étudier l'intérêt des OICs pour les phases de convergence dédiée à la génération des scénarios pédagogiques immersifs.

Le premier point permet de répondre à notre première hypothèse :

- **H1 : « Il est possible de formaliser une approche multidimensionnelle de conception collaborative de systèmes de formation professionnel immersifs centrée-utilisateur »**

Et de compléter notre deuxième contribution :

C2 : Proposition et mise à l'épreuve d'une démarche permettant la conception collaborative de formation professionnelle immersive centrée sur les utilisateurs.

Le deuxième point permet de préciser le périmètre d'étude de notre deuxième hypothèse de recherche :

- **H2 : « Dans le cadre du modèle de conception qui sera proposé, il est possible de définir l'ensemble des phases de convergence et les moyens de les faciliter ».**

Ainsi, ce chapitre participera également à la contribution suivante :

C3 : Analyse des phases de collaboration et plus particulièrement des phases de convergence à l'aide d'OIC lors du processus de conception.

2. Proposition du 2^{ème} modèle de processus de conception de FPI

Pour cette nouvelle itération de notre processus, nous avons choisi un nouveau langage de modélisation qui est IDEF0. IDEF0 basé sur des actigrammes (cf. Figure 24) et est employé pour produire un modèle des activités du système que l'on veut décrire (Bersier, 1995). A l'inverse de l'IDEF3 nous ne montrons pas l'état de l'objet mais les données d'entrée et de sortie de l'activité. Nous pouvons également représenter les données « **mécanismes** » qui précisent les

ressources qui supportent ou effectuent l'activité. Ainsi, nous pouvons mettre en évidence l'aspect collaboratif de notre processus en indiquant les ressources humaines concernées par les activités. De plus, nous pourrions indiquer les ressources matérielles ou méthodologiques nécessaires. Les données de « **contrôle** » expriment les conditions et/ou les contraintes qui vont influencer l'activité.

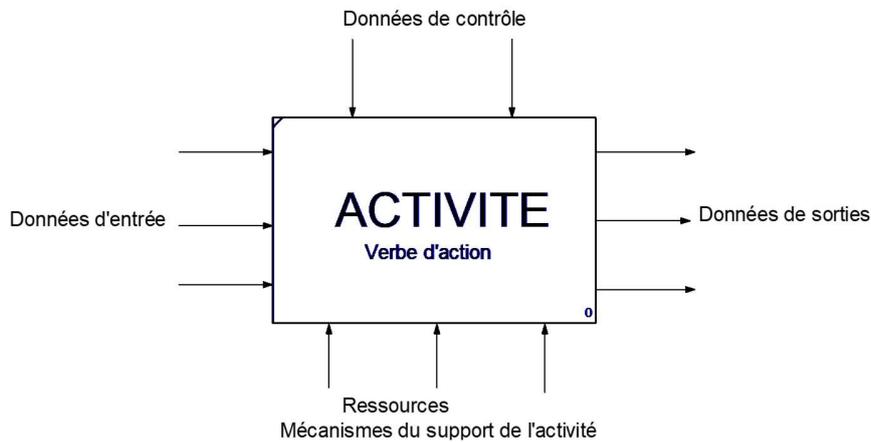


Figure 24 - schéma type d'un actigramme selon la norme idef0

Le schéma ci-dessous (Figure 25) représente notre processus au niveau macroscopique. Nous retrouvons les étapes principales qui le composent :

- **Définir le besoin « A1 »**, étape durant laquelle nous allons définir le besoin à partir de la demande du client et des besoins exprimés par les utilisateurs.
- **Réaliser la conception préliminaire « A2 »**, durant cette étape nous allons réaliser une étude approfondie de l'activité de travail et de formation. Cette étude servira à proposer de potentielles séquences pédagogiques immersives au client. Une fois la séquence validée, nous rédigerons le scénario pédagogique et le cahier des charges.
- **Réaliser la conception détaillée « A3 »**, consiste au développement de la solution. Le concepteur XR est davantage sollicité pour la réalisation de l'application mais il y a également des tests à effectuer avec l'équipe projet pour valider la solution.
- **Utiliser et faire un retour d'expérience de la FPI « A4 »**, cette dernière étape consiste à mettre en production la solution. Les formateurs devront être formés pour être autonomes lors de l'utilisation de l'application. L'application pourra être évaluée et les retours utilisateurs serviront d'axes d'améliorations de l'application.

Dans ce chapitre, nous détaillons les quatre activités.

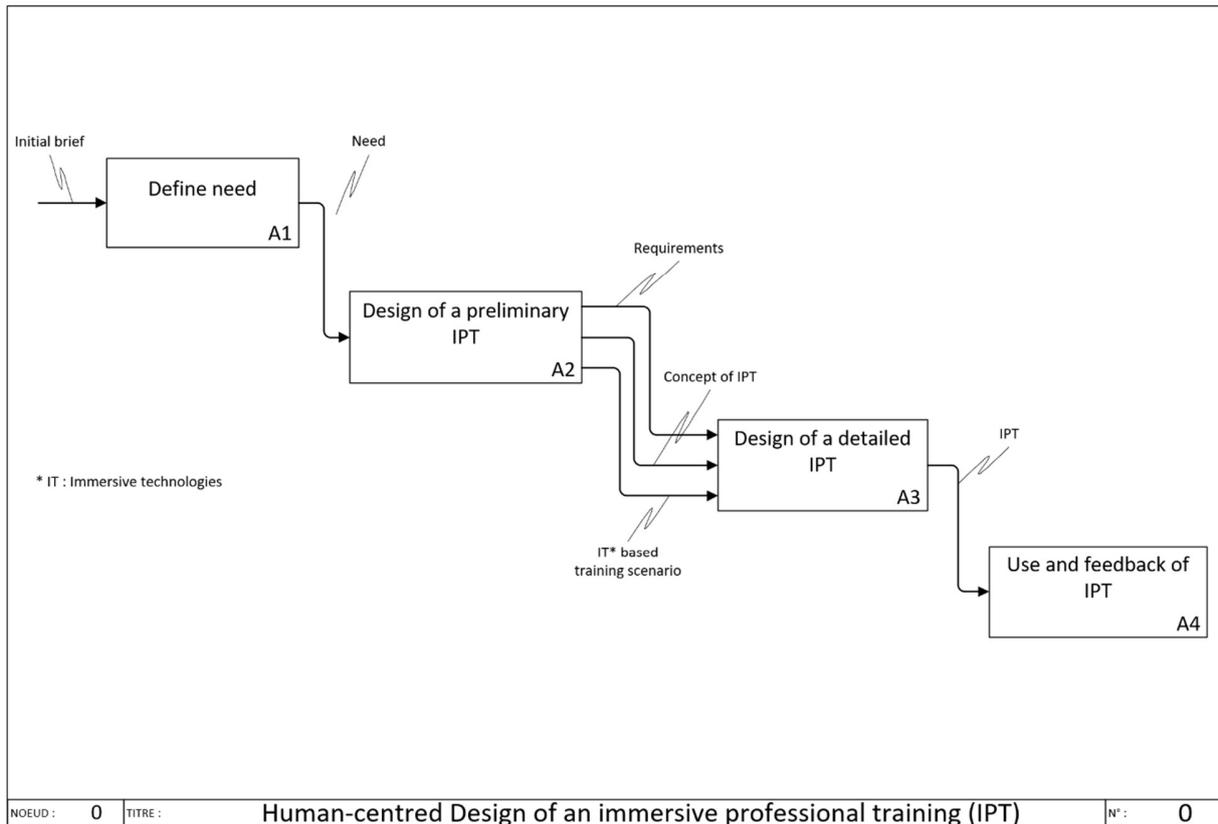


Figure 25 - Descriptif de la deuxième proposition de processus au niveau macroscopique

Désormais l'activité « **A1 - Définir le besoin** » est composée de (cf. Figure 26) :

- **La définition des rôles des différents acteurs (A11)** : par le pilote projet et le client afin de savoir à qui s'adresser dans le projet et que chaque acteur connaisse ses objectifs dans le projet. Il s'agit aussi de vérifier que les ressources humaines nécessaires seront disponibles et de définir leur niveau de disponibilité. A titre d'exemple, il s'agit de vérifier la disponibilité d'opérateurs qui pourraient participer à des séances d'observations de l'activité de travail ou encore de formateurs pour participer à des phases de co-conception des activités de formation immersive par exemple. Le retour d'expérience du projet ratière a montré tout l'intérêt d'anticiper ces besoins pour réaliser le projet dans de bonnes conditions. Il s'agira de prévoir des ressources vis-à-vis de l'ingénierie pédagogique, de l'ergonomie ou encore envisager le recours à un sous-traitant. Cette étape doit être réalisée par le « pilote projet » avec le client. En effet, ce dernier au sein de l'entreprise pilote est à même de dégager du temps aux différentes ressources citées par exemple.
- **Le recueil de la demande du client (A12)** : réalisé par l'ergonome avec le client pour permettre de définir la demande initiale (client requirements) en ciblant les attentes initiales du client ainsi que les contraintes qui portent sur le projet. Nous avons décidé de remplacer le terme commanditaire de notre premier processus par client pour être plus cohérent avec l'entreprise pilote. Elle va permettre de cibler les origines du projet, les conditions de conception, qui sont les apprenants et comment ils apprennent... Nous avons remarqué

l'importance de cette étape lors du projet ratière car en fonction du besoin, la solution ne sera pas la même.

- **Visite de l'environnement de travail et de formation (A13)** : pour identifier les contraintes organisationnelles par l'ergonome, l'ingénieur pédagogique et le concepteur XR. Cela va également permettre de définir les besoins et contraintes d'un point de vue de l'environnement.
- **Un benchmark sera à réaliser (A14)** : par le pilote projet et le concepteur XR pour se mettre à jour sur les dernières technologies et applications (en interne à l'entreprise ou en externe). Ce benchmark permettra également de donner des préconisations de matériels, de cas d'usages existants et d'exemple de retour sur investissement (ROI) pour justifier la solution par rapport au besoin. Il aidera également lors de la planification et budgétisation du projet. L'objectif est de créer une base de données interne à compléter et qui servira à chaque début de projet.
- **Le recueil des besoins exprimés des formateurs, apprenants et facilitateur (A15)** : les besoins exprimés seront récupérés via des questionnaires par l'ergonome auprès des formateurs, apprenants et d'un facilitateur. Cette étape est d'autant importante pour permettre l'identification de besoins non-conscients du point de vue des utilisateurs.
- **La définition du besoin (A16)** : est une étape où le besoin sera redéfini à partir des données recueillies en amont par l'ergonome, l'ingénieur pédagogique, le concepteur XR et le pilote projet. L'objectif est de faire en sorte que la solution sera perçue comme utile du point de vue du client et des utilisateurs.
- **La définition des contraintes des concepteurs (A17)** : puisque cela peut avoir un impact sur le déroulement du projet. Cela peut concerner leurs disponibilités par exemple. A définir auprès de l'ergonome, l'ingénieur pédagogique et le concepteur XR.
- Enfin, le projet pourra être **planifié (A18)** par le pilote projet. Nous pourrions au plus tôt mobiliser les ressources pour nous assurer de leurs disponibilités lors du projet.

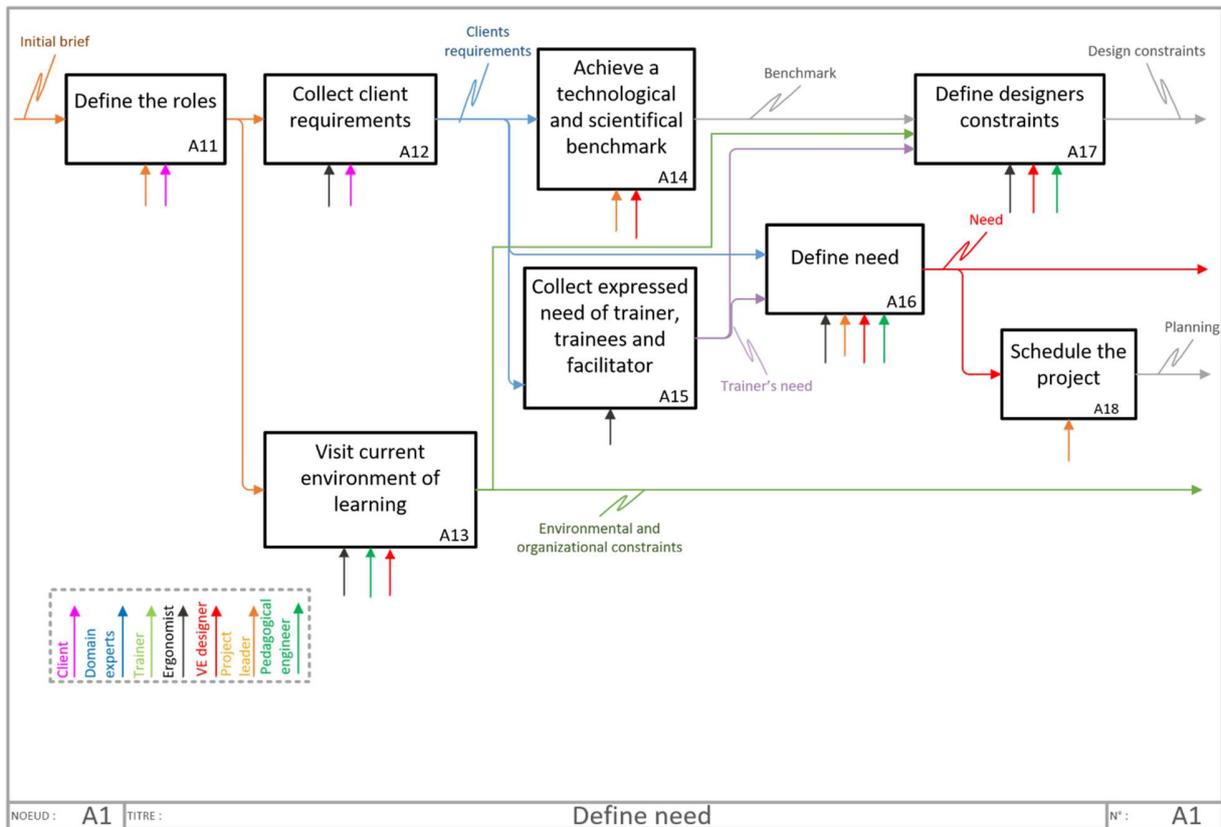


Figure 26 - Descriptif de l'activité A1 « Définir le besoin »

La deuxième activité de notre processus « **A2 – Réaliser la conception préliminaire** » est composée de (cf. Figure 27) :

- **Analyser de l'activité de formation (A21)** : Cette analyse va permettre de comprendre davantage l'activité de travail et de formation et de proposer des **séquences pédagogiques immersives potentielles**. Le projet ratière a permis de mettre en évidence qu'une analyse complète de l'activité doit permettre de rédiger un scénario pédagogique plus complet et ainsi faciliter le développement de l'application. Elle peut également permettre de faire ressortir le plan de formation s'il n'existe pas. Les personnes concernées par cette étape sont le pilote projet, l'ergonome, l'ingénieur pédagogique, le concepteur XR ainsi que le formateur et les apprenants. Le contenu de cette tâche sera détaillé plus bas.
- **Valider la séquence pédagogique immersive avec les experts du domaine (A22)** : Une fois l'analyse de l'activité de formation réalisée et la **proposition séquences pédagogiques immersives potentielles** par le pilote projet, il convient de les faire valider par les experts du domaine, cela peut être le client, le formateur, un représentant du domaine ou tout autre personne ayant participé au projet (ergonome, ingénieur pédagogique, concepteur XR). Il peut s'agir d'une réunion au cours de laquelle la solution est présentée afin que les parties prenantes puissent la valider. Les objectifs pédagogiques qui auront été définis seront aussi validés.

- **Développer et tester un proof of concept (A23)** : pour permettre d'aider les futurs utilisateurs à se projeter vers la solution. Cette représentation de la solution doit être simple. Cela peut être un storyboard, une vidéo, une maquette... Elle peut être réalisée par le pilote projet, le concepteur XR, l'ergonome et l'ingénieur pédagogique et sera testée par les futurs utilisateurs.
- **Définir le profil des utilisateurs (A24)** : l'objectif est de définir les caractéristiques des utilisateurs cibles (apprenants, formateurs) par l'ergonome et le pilote projet sur la base des **connaissances générées lors de l'étape A21**.
- **Définir le scénario pédagogique (A25)** : cette étape est la même que dans le premier processus. La séquence pédagogique immersive validée, il convient de décrire précisément le contenu (déroulement des actions, tutoriel, scoring, messages d'erreur...) par le pilote projet, l'ergonome, l'ingénieur pédagogique, le concepteur XR et l'expert du domaine (généralement un formateur). Il s'agit du déroulé que suivra l'utilisateur dans l'application.
- **Développer un premier concept (A26)** : il s'agit de développer un concept plus fonctionnel que le proof of concept (A23). Tester ce premier concept va donner des recommandations pour la future solution. Comme le proof of concept, elle peut être réalisée par le pilote projet, le concepteur XR, l'ergonome et l'ingénieur pédagogique et sera testée par les futurs utilisateurs.
- **Définir le cahier des charges (A27)** : par le pilote projet, l'ergonome, l'ingénieur pédagogique et le concepteur XR pour finir la phase de conception préliminaire. Il s'agit du document qui définit les fonctionnalités de la solution à développer. Ce document est destiné au développeur XR principalement.
- **Définir un nouveau plan de formation (A28)** : par le client, le pilote projet, l'ingénieur pédagogique et l'ergonome. Il s'agit d'intégrer la séquence pédagogique immersive au parcours de formation. On peut définir par exemple combien de fois l'exercice sera joué, à quel moment, avec qui, ... Au cours du projet ratière par exemple, il avait été convenu que l'application que nous avons développée serait utilisée à partir de la 2^{ème} semaine de formation (cf. chapitre IV « c. Présentation de l'application de formation immersive au montage ratière » p. 65) afin que l'apprenant maîtrise les bases de son poste (vocabulaire, outil, connaissances du montage d'une ratière).

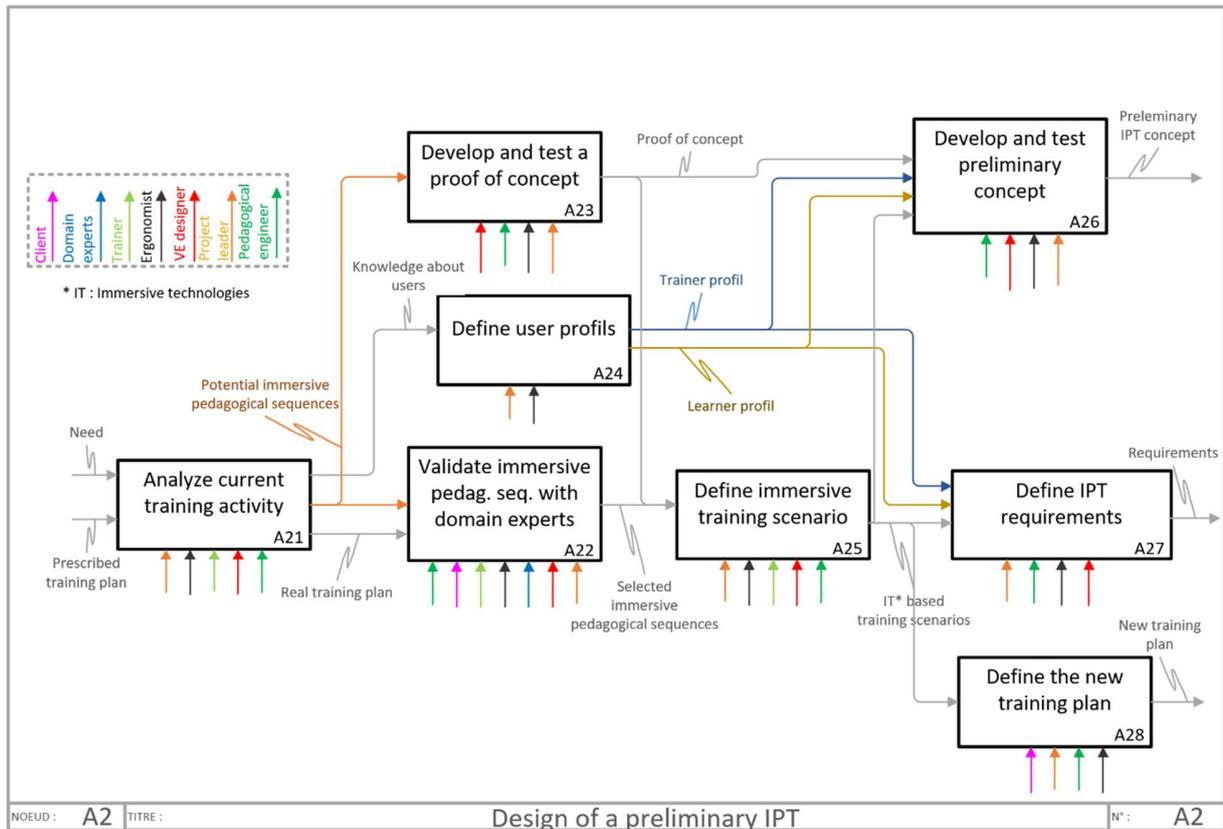


Figure 27 Descriptif de l'activité A2 «Réaliser la conception préliminaire »

Nous avons décidé de détailler davantage l'« **Analyse de l'activité de formation** » (A21) qui est complexe mais stratégique pour la réussite du projet. Elle est composée des activités suivantes :

- **Réaliser des vidéos d'observations (A211)** : par l'ergonome et l'ingénieur pédagogique auprès des apprenants ou formateurs
- **Récupérer les traces de l'activité du formateur et des apprenants (A212)** : c'est-à-dire tous éléments de la formation (nombre d'opérations réalisées, temps de formation, documents etc.) par l'ergonome et l'ingénieur pédagogique.
- **Récupérer les documents de formation (A213)** : par l'ergonome et l'ingénieur pédagogique comme le plan de formation initial, le contenu de la formation, des check-lists, ...
- **Réaliser des entretiens avec les apprenants et formateurs (A214)** : pour découvrir les caractéristiques des futurs utilisateurs mais également ce qu'ils pensent de la formation initiale par l'ergonome et l'ingénieur pédagogique.
- **Analyser les données (A215)** : à partir des données de sortie des activités A211, A212, A213 et A214 par l'ergonome, l'ingénieur pédagogique et le pilote projet. Grâce à cela, il est possible d'avoir une meilleure compréhension de l'activité de formation et des difficultés que peuvent rencontrer les apprenants et formateurs. Cette analyse va servir à cibler les séquences pédagogiques problématiques.
- **Converger les technologies immersives avec la séquence pédagogique problématique (A216)** : ici il s'agit d'imaginer quelle serait la ou les solutions

technologiques les plus adéquates à utiliser en fonction de la problématique de la formation. Il convient également de définir les objectifs pédagogiques. Cette tâche doit être réalisée par le pilote projet, le concepteur XR, l'ingénieur pédagogique et l'ergonome.

- **Converger avec le formateur (A217)** : sur la base des solutions potentielles, il faut que **le pilote projet, l'ergonome, l'ingénieur pédagogique et le concepteur XR travaillent avec les utilisateurs pour en retenir une et penser à un scénario d'usage pour illustrer la solution**. Ce sont les formateurs qui sont principalement visés car plus disponibles que d'anciens formés. Mais il va de soi que tout utilisateur potentiel est intéressant pour cette étape. Un descriptif global doit être réalisé pour envisager la manière de réaliser la solution d'un point de vue technique et organisationnel.

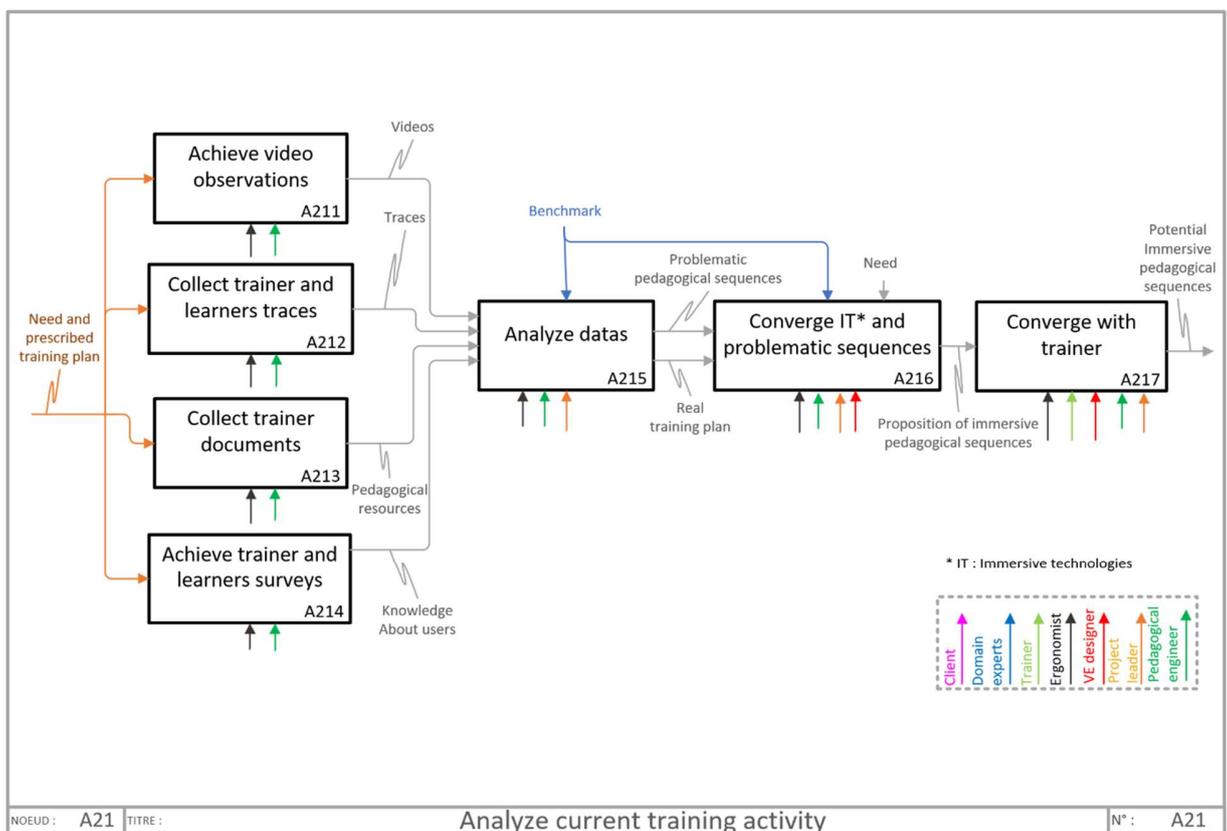


Figure 28 Descriptif de l'actigramme A21 « Analyser de l'activité de formation »

Nous avons construit l'activité « **A3 - Réaliser la conception détaillée** » de notre processus du point de vue de l'entreprise pilote. Les termes retenus sont choisis pour qu'ils représentent les étapes de manière compréhensible pour les équipes de l'entreprise pilote qui n'ont pas forcément les compétences en développement d'application immersive. Elle est composée de (cf. Figure 29) :

- **Préparer des composants de l'application (A31)** : La solution immersive est développée à partir de composants ou d'éléments pour créer l'environnement virtuel. Cela

peut être des modèles 3D, des photos/vidéos à 360°, des textes, etc... Pour développer la future solution, il faut alors regrouper ces composants et les faire suivre au développeur. Dans certains cas, il va falloir créer les composants numériques ou alors les récupérer auprès de certains services (R&D, méthodes...) s'ils sont existants. Il faut également un temps de préparation pour les rendre compatibles en réalité virtuelle ou augmentée.

- **Développer et tester la maquette « A32 »** : Le maquettage de la solution va permettre de valider le graphique des interfaces avec les différents acteurs : formateurs, expert du domaine, ergonomiste, client, ingénieur pédagogique, concepteur XR et le pilote projet.
- **Développer et tester le prototype « A33 »** : Le développement d'un prototype fonctionnel servira à vérifier l'adéquation des interactions choisies avec le scénario. Elle peut également être testée avec les acteurs : formateurs, expert du domaine, ergonomiste, client, ingénieur pédagogique, concepteur XR et le pilote projet.
- **Intégrer et développer l'application « A34 »** : Cette phase constitue la dernière pour le développement de l'application. Une fois les interactions validées, il convient d'intégrer les composants de l'environnement virtuel. La fin du scénario sera également programmée.

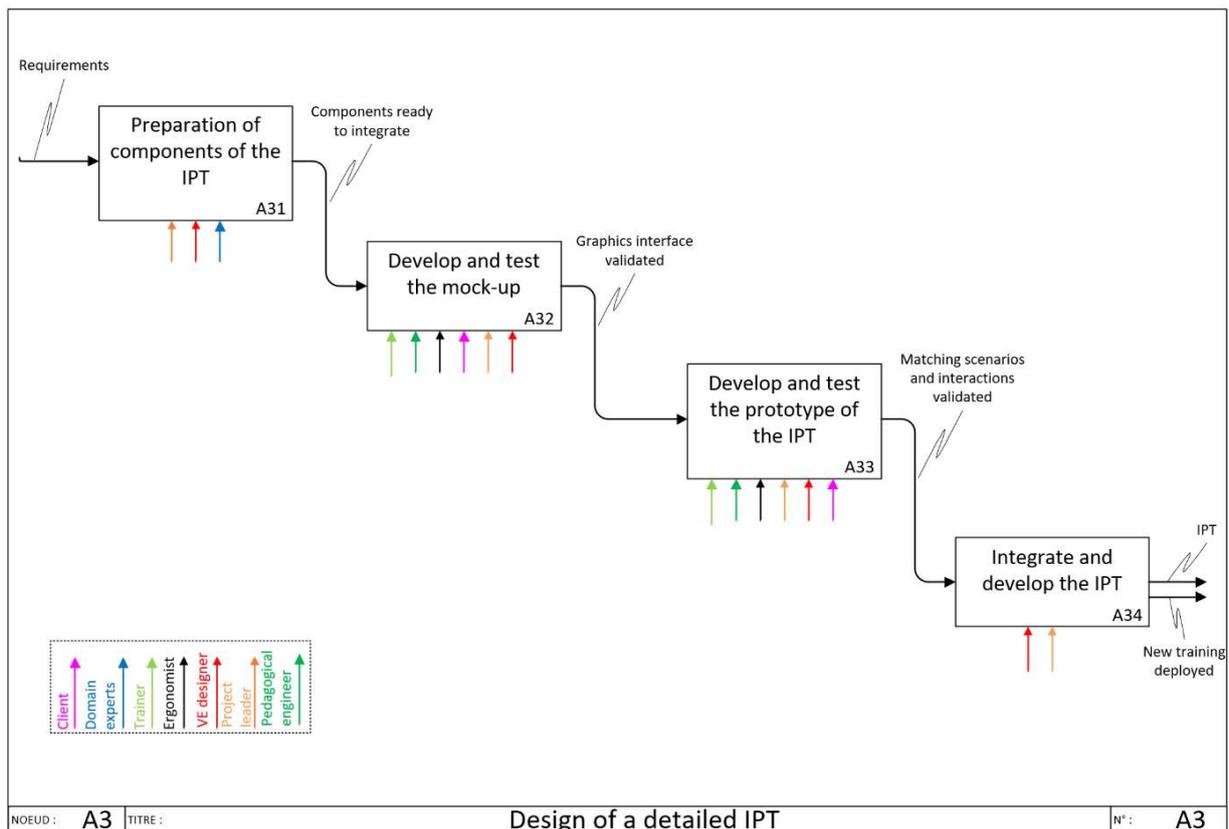


Figure 29 - Descriptif de l'activité A3 "Conception détaillée"

Notre quatrième activité de notre processus « **A4 - Utiliser et faire un retour d'expérience de la FPI** » est composée de (cf. Figure 30) :

- **Ecrire les instructions et des documents techniques (A41)** : Le document technique va permettre d'avoir une traçabilité sur la conception de la solution. En cas de mise à jour ou de problème, il faudra se référer à ce document. La notice de formation est un document pour guider les formateurs pour les aider à démarrer le matériel et l'utiliser, etc... Ces documents peuvent être rédigés par le pilote projet ou de manière collaborative avec la participation des différents experts.
- **Former le formateur « A42 »** : Cette tâche est importante pour la réussite du projet. Il convient de former les formateurs à l'utilisation de la solution pour qu'ils puissent s'approprier l'outil et l'utiliser par la suite.
- **Former les apprenants « A43 »** : il s'agit ici du déploiement du nouveau plan de formation avec la solution immersive et du commencement de la formation des apprenants.
- **Evaluer la formation « A44 »** : Ici, il convient d'évaluer la solution en situation de production pour vérifier que l'application est utile, utilisable et acceptée. Elle pourra être évaluée à partir des traces de formation lors de la préparation du formateur « A42 » et de la formation des apprenants « A43 ». Il pourra en ressortir des axes d'amélioration pour des futures versions de l'application.

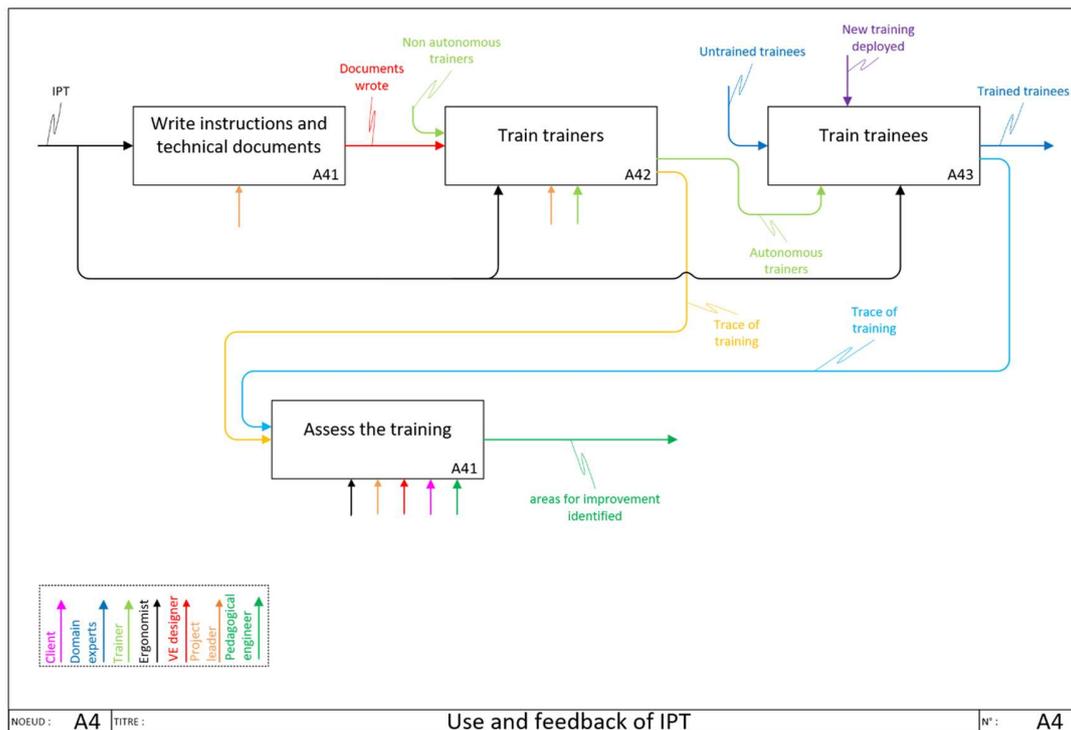


Figure 30 - Descriptif de l'activité A4 "Utilisation et retours utilisateurs"

Ce nouveau modèle prend en compte un ensemble de modifications qui devraient maintenant faciliter la réalisation de nouveaux projets dans l'entreprise pilote. Il doit être mis à l'épreuve et c'est l'objet des sections suivantes.

3. Application n°1 du modèle : Formation à distance

a. Objectif expérimental

À la suite de la description de notre nouveau modèle de processus de conception de FPI, nous en proposons une première mise à l'épreuve. Cela participera à la contribution N°2 de nos travaux :

C2 : Proposition et mise à l'épreuve d'une démarche permettant la conception collaborative de formation professionnelle immersive centrée sur les utilisateurs.

b. Demande de l'entreprise pilote

Le contexte de ce projet concerne la **formation d'opérateurs à distance**. La division robotique souhaite fabriquer des robots sur un de ses sites à l'étranger. Les opérateurs de ce site n'ayant aucune expérience dans la fabrication de ces robots, il faut les former. Malheureusement au moment du projet, à cause des conditions sanitaires liées au COVID, il n'était pas possible d'envoyer des formateurs sur site. **L'objectif était donc de pouvoir former ces opérateurs à distance depuis la France.**

La formation concerne **les postes de montage, contrôle et emballage des robots 4X** (Figure 31).



Figure 31 - Robot SCARA 4 axes TS2-40 Stäubli

Il est important de noter que nous avons intégré ce projet en cours. Le groupe projet initial était constitué ainsi :

- Un chef de projet du bureau des méthodes chargé de la mise en place des formations.
- Trois formateurs « monteurs experts » de la société pilote (un par poste).
- Un apprenant sur le site délocalisé qui sera référent du poste à la suite de la formation,

- Un traducteur
- Nous-mêmes en tant que :
 - Ergonome, ingénieur pédagogique, concepteur XR et pilote projet en fonction des tâches à réaliser.
 - Référent méthodologique auprès du chef projet du bureau des méthodes : afin de l'assister dans la réalisation de ce projet

c. Application du 2nd processus de conception de FPI

Analyse préliminaire

A notre arrivée dans le projet, **le service méthode** avaient déjà pris plusieurs décisions concernant la définition du besoin, le déroulement de la formation et le contenu de la formation :

- La durée de la formation est de 6 semaines et sera conduite une seule fois.
- Du fait du décalage horaire, les sessions de formation ne peuvent durer que 4h par jour car il s'agit du temps en commun entre les deux sites.
- Le formateur sera dans une salle dans l'entreprise pilote et l'apprenant sur un poste de montage de robots. Le formateur devra expliquer à l'apprenant ce qu'il doit faire pour qu'il puisse monter le robot via le montage en direct. Le fonctionnement est le même que le compagnonnage dans l'entreprise pilote.
- La technologie immersive était également prédéfinie. Le service méthodes avait retenu l'usage de casques Hololens 2 (déjà présents au sein de l'entreprise) avec l'application Remote Assist qui permet de réaliser une visioconférence augmentée.
- Au moment de notre arrivée sur le projet, nous avons 10 semaines avant la réalisation des premières sessions

Nous avons été sollicités afin de trouver un moyen pour que les interlocuteurs (formateurs et apprenants) puissent communiquer du mieux possible pendant la formation via les Hololens 2 (casque de réalité augmentée) et l'application Remote assist.

L'application de notre processus s'est donc avérée très limitée dans le cadre de ce projet. Nous avons très vite remarqué qu'au vu des délais avant le commencement de la formation, il n'était pas possible d'appliquer notre processus en entier.

Le rôle que nous avons joué était celui de « conseiller ». Dans les conditions définies en amont, il s'agissait d'accompagner le groupe projet pour délivrer la solution technique et de partager des bonnes pratiques pour assurer sa bonne utilisation.

Nous allons donc présenter les tâches du processus de conception qui ont été appliqués pour ce projet.

Etape A1 Définir le besoin (Figure 26 p.89) :

- **Définition des rôles « A11 »** n'a pas été réalisée car le client, les experts du domaine et les formateurs étaient déjà définis. Il n'était pas prévu de faire appel à un ingénieur pédagogique, un ergonomiste ou un concepteur XR en extérieur au vu des délais du projet et de la technologie à utiliser (déjà maîtrisée par l'entreprise) c'est pourquoi nous avons endossé ces rôles en tant que conseiller.
- **Recueil de la demande du client « A12 »** a été réalisée sur la base d'un entretien à partir d'un guide d'entretien entre le pilote projet et le client (Cf. annexe 7). Les questions du guide d'entretien sont tirées des travaux de Tricot en 2003 (Tricot and Plégat-Soutjis, 2003) et de Parmentier en 2007 (Parmentier, 2011). Il nous a décrit ses attentes dans le projet et ce qui avait déjà été réalisé et expliqué dans la partie précédente (cf. 0.)
- **Une visite de l'environnement d'apprentissage « A13 »** a été effectuée pour comprendre l'activité de travail et l'activité de formation. Nous avons pu également recueillir des informations sur l'environnement de travail sur le site étranger sans avoir besoin de nous y déplacer.
- Durant **la réalisation du benchmark « A14 »**, nous avons principalement réalisé des tests des Hololens 2 pour vérifier qu'ils offraient les possibilités demandées en A12. Nous avons également réalisé un retour d'expérience de l'utilisation du casque Hololens au cours d'anciens projets.
- **Le recueil des besoins exprimés des futurs utilisateurs « A15 »** n'a pas été réalisée. Au vu des délais nous avons attendu de faire l'étude approfondie du poste pour échanger avec les formateurs.
- **La définition du besoin « A16 »** n'a pas eu besoin d'être réalisée car le besoin était déjà défini avant notre arrivée sur le projet
- **La définition des contraintes des concepteurs « A17 »** concernait uniquement les contraintes de disponibilité du pilote projet pour travailler sur le projet
- Nous avons **planifié le projet « A18 »** pour clôturer la première étape A18. Nous avons fait une sélection des étapes qui restaient à réaliser au vu des besoins et du délai avant le démarrage de la formation.

Etape A2 « Réaliser la conception préliminaire » (Figure 27 p.91)

Ici nous décrivons les actions réalisées dans le cadre de l'étape A2 (Figure 27 p.91) :

- **L'analyse de l'activité « A21 »** a pu être réalisée via les sous-tâches (Figure 28 p.92) ci-dessous :
 - Nous avons réalisé une observation des trois postes (montage, contrôle et emballage des robots) via **des vidéos (« A211 ») et nous avons récupérés les traces de la formation « A212 »**. Nous avons **récupéré les documents de formation « A213 »** qui sont uniquement les gammes de montage et nous avons **réalisé des entretiens « A214 »** sur les difficultés concernant le poste.
 - Selon les personnes interrogées, les difficultés dans la formation montage sont :
 - Le ressenti à retranscrire lors des réglages de la machine
 - La reconnaissance des sons anormaux du robot suite à un mauvais montage
 - Pour le contrôle, la difficulté majeure réside dans le fait que, en fonction des erreurs détectées, le processus à suivre varie considérablement. Cependant, il n'existe aucune documentation explicative à ce sujet, obligeant ainsi à effectuer des

recherches approfondies au sein de la gamme de montage pour déterminer la marche à suivre ou à solliciter des échanges avec les collègues pour obtenir des conseils.

- Pour l'emballage il n'y a pas de difficulté car l'opération est rapide, il faut cependant être très vigilant car il s'agit du dernier contrôle visuel du robot avant envoi chez le client.
- **Les données récupérées ont été analysées en « A215 ».** Toute l'activité des trois postes devait être montrée au site étranger. Cependant, nous avons tout de même défini une liste de **séquences pédagogiques problématiques**.
- **La tâche de convergence de la technologie avec la séquence pédagogique problématique « A216 »** n'a pas eu à être réalisée comme nous l'avions définie. Étant donné que le client avait imposé l'utilisation des Hololens, nous avons cherché des moyens d'exploiter au mieux cette technologie pour soutenir les formateurs et les apprenants, en particulier pour les séquences pédagogiques problématiques. Par exemple, nous avons recommandé de préparer à l'avance des photos ou des séquences vidéo à partager, ce qui aurait facilité la compréhension lors du montage d'un robot, et ce, en accord avec la préférence du client pour les Hololens.
- Nous n'avons pas eu besoin de nous réunir avec le formateur **"A217" pour obtenir sa validation concernant la technologie**. Cependant, nous avons organisé une présentation du dispositif, suivie d'une session de test. Étant donné que le casque devait être utilisé par le site étranger, nous souhaitions que les formateurs présents sur le site de l'entreprise pilote aient l'opportunité de tester le dispositif. Cela leur a permis de se mettre à la place des apprenants et de mieux comprendre les conditions dans lesquelles ces derniers évolueraient. Par exemple, ils ont pu évaluer ce qu'ils allaient voir à travers le casque et comment ils allaient pouvoir interagir avec l'outil, parmi d'autres aspects importants.
- Les données sortantes de ces tâches sont des recommandations sur l'utilisation de la technologie en fonction de la formation. Nous avons également préparé un document pour partager nos bonnes pratiques pour nous assurer que le matériel soit correctement utilisé pendant la formation afin d'avoir les meilleurs résultats.

- **La validation de la séquence pédagogique immersive « A22 »** n'a pas eu besoin d'être réalisée puisqu'elle avait déjà été validée en amont de notre arrivée sur le projet. Il s'agit de former sur toute l'activité de formation et le dispositif immersif doit aider le formateur et l'apprenant à échanger. Il avait déjà été prévu en amont d'utiliser le casque Hololens 2 et l'application Remote Assist.
- Grâce aux données de l'analyse de l'activité « A21 » et le recueil des besoins du client « A12 », nous avons pu **définir les profils des utilisateurs « A24 »**.
- Nous n'avons pas exactement **développé et testé un proof au concept « A23 » ou un premier concept « A26 »** puisqu'il s'agit d'une application déjà existante. Nous avons plutôt réalisé des tests du matériel avec le site à l'étranger pour nous assurer que le matériel fonctionnait correctement. Nous avons dû également faire acheter en amont le matériel pour nous assurer qu'il soit prêt lors du démarrage de la formation et qu'il soit testé avant.
- **Le scénario de la formation « A25 »** était déjà défini en amont puisqu'il s'agit uniquement de retranscrire la formation existante.

- Nous n'avons pas non plus eu besoin de **définir un nouveau plan de formation « A28 »** puisque cette formation ne devait être réalisée qu'une seule fois. Effectivement une fois les connaissances transmises sur le site à l'étranger, il était prévu pour qu'ils s'organisent en interne pour former les nouveaux sur le poste.
- **La définition du cahier des charges « A27 »** n'a pas eu besoin d'être réalisée puisque l'application est déjà existante (Remote assist).

Etapes A3 « Réaliser la conception détaillée » (Figure 29 p.93) et A4 « Utiliser et faire un retour d'expérience de la FPI » (Figure 30 p.94)

L'étape A3 « Réaliser la conception détaillée » (Figure 29 p.93) n'a pas été réalisée vu qu'il n'y avait pas de développement « logiciel » à prévoir. L'application Remote assist offrait un ensemble de fonctionnalités avec lesquelles nous devons fonctionner.

Pour l'étape A4 « Utiliser et faire un retour d'expérience de la FPI » (Figure 30 p.94), Nous étions présents lors du démarrage de la formation pour un accompagnement et en cas de problème avec le dispositif. En fin de formation, nous avons recueilli leurs retours. Nous avons également rédigé un document avec les données du projet ainsi que le fonctionnement du matériel.

d. Evaluation du processus de conception

Il convient maintenant d'évaluer notre nouveau modèle de processus de conception de FPI. Comme pour le projet ratière, nous réaliserons un évaluation en deux temps (Heisig, Clarkson and Vajna, 2010b) :

- Dans un premier temps le résultat du processus, c'est-à-dire l'application qui a été conçue.
- Dans un deuxième temps, nous évaluerons le processus à partir du retour entre le prescrit (les étapes du processus) et le réel (les étapes effectivement réalisées).

i. Résultat du processus

La formation s'est déroulée en compagnonnage avec une partie dans l'entreprise pilote et une partie sur le site à l'étranger (Figure 32).

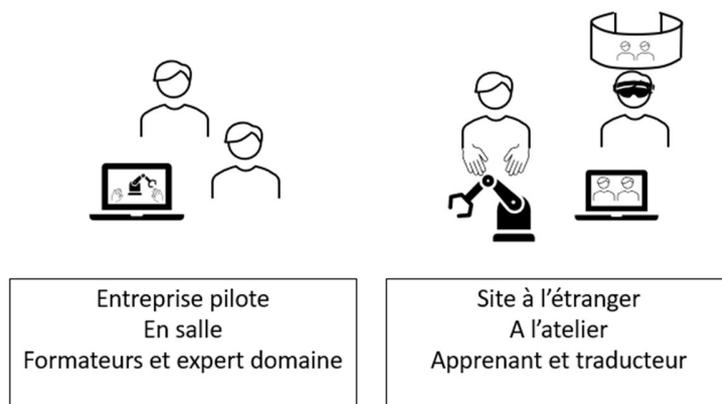


Figure 32 - Organisation de la formation

A l'entreprise pilote, la formation se déroulait dans une salle avec le formateur et l'expert du domaine. Ils avaient à disposition un ordinateur et l'application Teams pour communiquer avec les personnes du site à l'étranger.

Sur le site à l'étranger, il y avait l'apprenant, le traducteur et l'expert du domaine. Ils se trouvaient à l'atelier, là où se déroulerait la future activité de travail. Ils avaient à disposition un ordinateur, le casque de réalité augmentée Hololens 2 avec l'application Remote Assist pour communiquer avec les personnes présentes à l'entreprise pilote et également des robots à monter, contrôler et emballer.

Le porteur du casque Hololens est le traducteur car c'est lui qui communique avec le formateur, il est chargé ensuite d'expliquer à l'apprenant. Le casque Hololens dispose de caméras ainsi le formateur et l'expert du domaine sont capables de voir ce que voit le traducteur. Ainsi, ils contrôlent, valident ou corrigent les actions qui sont réalisés par l'apprenant. Les étapes se faisaient donc pas à pas sur des vrais robots comme en situation de compagnonnage à l'entreprise pilote.

Le formateur était capable de dessiner dans l'environnement du traducteur pour lui montrer des choses directement sur le robot grâce aux fonctions de réalité augmentée. Nous avons fourni un guide de bonne pratique pour nous assurer que la technologie soit bien utilisée lors de la formation.

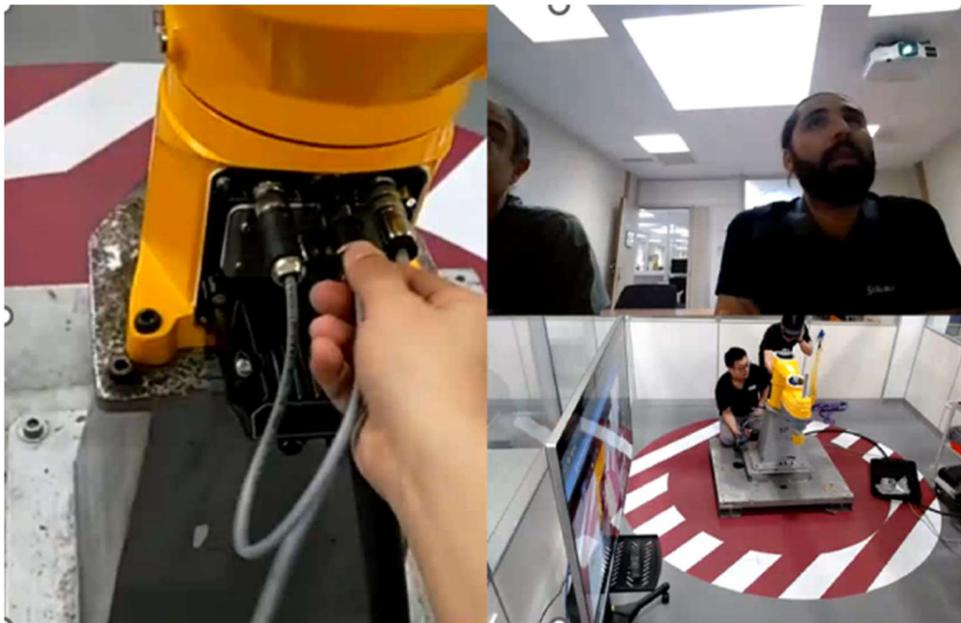


Figure 33 - Organisation de la formation : à gauche la vue du traducteur, en haut à droite la vue de l'entreprise pilote et en bas à droite une vue du site à l'étranger

La formation a pu se dérouler comme prévu soit 4 heures par jour. En totalité la formation aura durée 100 heures pour les 3 activités (montage, contrôle et emballage).

À la fin de la formation, nous avons mené un entretien avec le client pour recueillir ses impressions. Selon lui, la formation s'est parfaitement déroulée, et les modalités mises en place via le casque HoloLens ont pleinement satisfait les objectifs initiaux. En effet, les participants ont utilisé le casque HoloLens de manière constante, et c'est grâce à cet outil que la formation a pu être réalisée malgré les contraintes du projet.

Malgré cette satisfaction globale, le client a exprimé la nécessité d'une formation sur site en complément. Cependant, il convient de noter que le casque et l'application sont désormais disponibles à l'étranger, et l'équipe distante peut les contacter en cas de problème.

ii. Différence entre le prescrit et réel

Nous évaluons maintenant notre modèle de processus de conception de FPI via l'analyse entre le prescrit et le réel. Pour mettre en évidence les différences entre prescrit et réel au niveau des actigrammes, nous avons associé une couleur à chaque état des activités proposées :

- Orange : les étapes qui ont déjà été réalisées en amont du lancement du projet et qui font partie du processus
- Verte : les étapes qui ont été réalisées pendant le projet et qui font partie du processus
- Rouge : les étapes du processus qui n'ont pas été réalisées

Le temps alloué au projet avant le démarrage étant réduit, nous avons donc appliqué le processus avec pour objectif de nous assurer que la technologie réponde au besoin et d'identifier les points d'alerte dans le projet.

Etape A1 – Définir le besoin (Figure 34)
--

La définition des rôles « A11 » et la définition du besoins « A16 » n'ont pas été réalisées car le chef de projet industriel avait déjà défini les personnes allouées au projet ainsi que le besoin en amont. Le pilote projet a joué le rôle de l'ergonome, de l'ingénieur pédagogique et du concepteur XR pour prendre en compte tous les points de vue du projet.

La réalisation d'un Benchmark « A14 » n'a pas eu à être réalisée puisque la technologie était déjà décidée par le client. Nous avons uniquement recueilli les retours d'expérience d'utilisation antérieures de cette technologie car déjà présente dans l'entreprise.

Nous avons réalisé les étapes : recueil de la demande du client « A12 », visite de l'environnement de formation « A13 » et le recueil des besoins exprimés par les utilisateurs « A15 » du processus afin de reprendre le besoin et s'assurer de l'usage souhaité et de la technologie associée. Nous voulions nous assurer qu'elle réponde à la demande et qu'elle soit utilisée le plus efficacement possible.

La définition des contraintes des concepteurs « A17 » et la planification du projet « A18 » ont également été réalisées pour identifier les contraintes concernant le projet, qui concernaient principalement le temps restant. Cela a permis de planifier le projet.

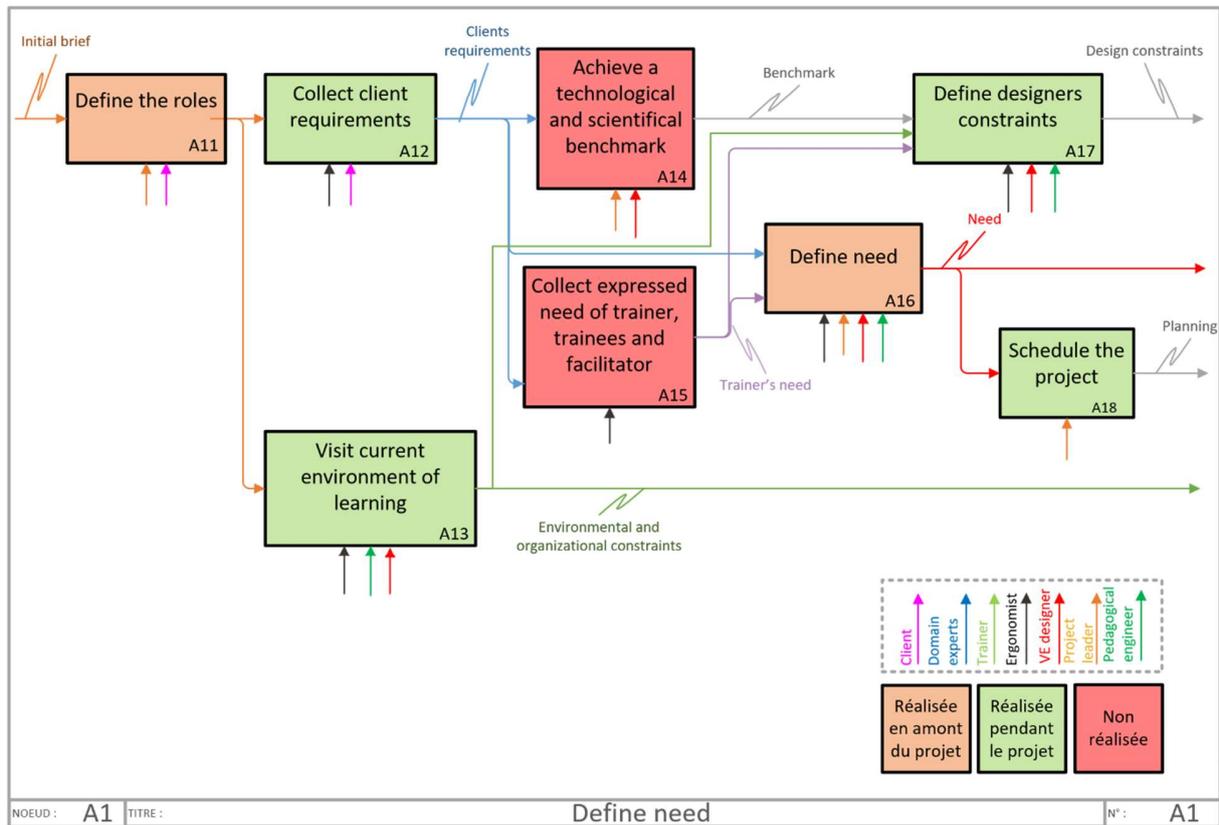


Figure 34 - Schéma prescrit réel de l'étape A1

Tâche A21 – Analyser l'activité de formation (Figure 35):

Nous avons décidé de réaliser une analyse de l'activité de travail et de formation. Cette analyse nous a permis de comprendre comment était organisé le compagnonnage et cibler les difficultés de la formation initiale. Cela était nécessaire pour guider l'usage de la technologie. Nous avons donc réalisé les étapes : **réalisation de vidéos d'observations « A211 »**, **récupération des traces « A212 »**, **la récupération des documents de formation « A213 »**, **la réalisation d'entretiens « A214 »** et **l'analyse des données « A215 »** qui permettent de réaliser l'analyse de la formation et de mettre en évidence les séquences de formation problématiques.

La convergence de la technologie avec la séquence problématique « A216 » et **la convergence avec le formateur « A217 »** n'ont pas été effectuées puisque la technologie et le plan de formation associé étaient imposés.

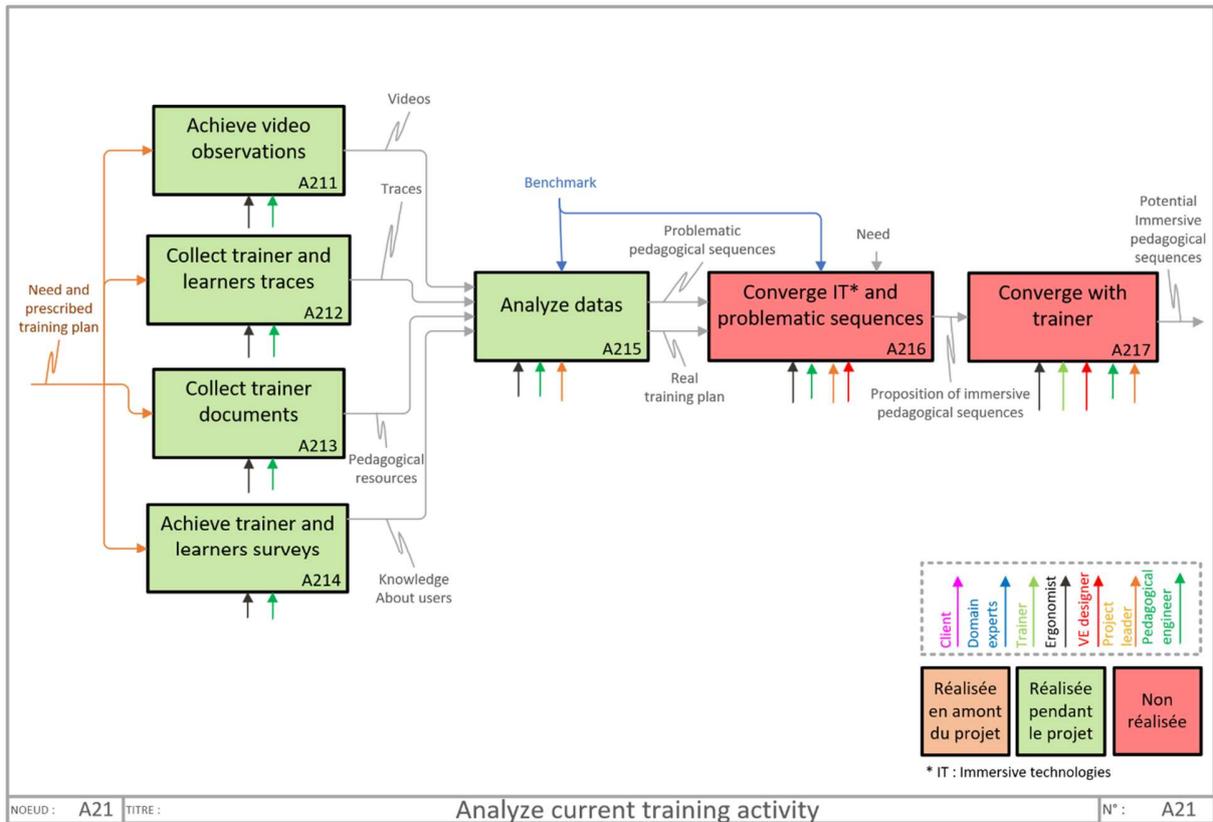


Figure 35 - Schéma prescrit réel de la tâche A21

Etape A2 – Réaliser la conception préliminaire (Figure 36)

Il y a davantage de différences entre le prescrit et le réel au niveau l'étape A2.

Nous avons réalisé l'analyse de l'activité « A21 » ainsi que la définition des profils des utilisateurs « A24 ».

Nous n'avons pas validé la séquence pédagogique immersive « A22 », ni de défini le scénario de formation « A25 » et défini le nouveau plan de formation « A28 ».

Nous n'avons également pas développé un proof of concept « A23 » ou un premier concept « A26 ».

Le cahier des charges n'a pas non plus été rédigé « A27 ».

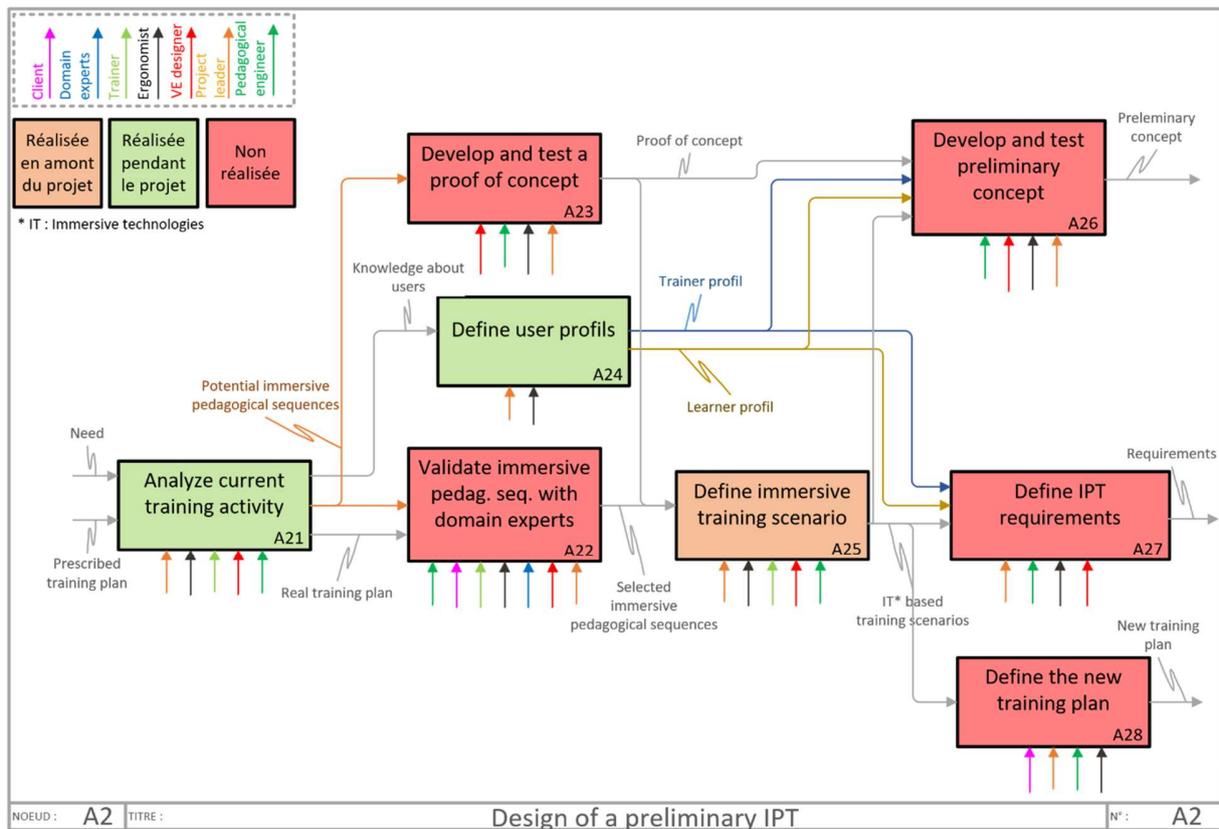


Figure 36 - Schéma prescrit réel de l'étape A2

e. Discussion

Le principal élément qui ressort de l'expérimentation de notre modèle de processus de conception est le fait que les activités n'ont pas été réalisées telles que prescrites initialement. En effet, nous avons démarré le projet avec un ensemble de décisions qui avaient déjà été prises et qui nous empêchaient de réaliser certaines tâches.

Au regard de la littérature, un modèle de processus n'a pas besoin d'être totalement correct pour être utile et l'exactitude de celui-ci ne garantit pas non plus son utilité (Heisig, Clarkson and Vajna, 2010b). De plus, un modèle qui est inadapté sur certains aspects peut être utile à condition qu'il permettent à ses utilisateurs de comprendre ce que le modèle peut lui apporter (Heisig, Clarkson and Vajna, 2010b). Dans notre cas, c'est exactement cette situation que nous avons rencontrée. Nous avons à notre disposition l'ensemble des tâches potentielles à réaliser et nous avons « puisé » dans cet ensemble pour choisir celles qui étaient les plus pertinentes à mener pour le projet. Nous avons ainsi adapté l'application de notre processus pour réaliser une intervention de type « conseil » en :

- Etude du besoin
- Partage de bonnes pratiques
- Accompagnement pour utiliser le matériel

Grâce à notre connaissance fine du modèle de processus, nous avons adapté notre intervention afin d'aboutir à un résultat satisfaisant. Cependant, cela pose la question du caractère opérationnel de notre modèle. **En effet, est-ce qu'une personne de l'entreprise sans une bonne connaissance de notre modèle serait capable de s'adapter aussi facilement si elle devait l'utiliser en tant que chef de projet ?** Une solution passe peut-être par une proposition de modèle de processus adaptatif qui pourrait guider le chef projet dans le choix des étapes les plus pertinentes à mettre en œuvre en fonction des données d'entrée du projet.

f. Conclusion

L'étude de notre nouvelle version du processus nous a permis de mettre en évidence les caractéristiques d'adaptabilité de notre modèle. En effet, malgré la non-réalisation de certaines tâches préconisées, les membres du projet ont toujours eu un guide méthodologique qui leur permettait d'envisager les étapes à réaliser pour aboutir au résultat. Cependant l'appropriation de notre modèle par les équipes de l'entreprise pilote nous paraît un point bloquant. En effet, nous devons veiller à ce que les concepteurs aient à leur disposition un guide méthodologique adapté à leurs connaissances et compétences dans les domaines traités par notre méthode de conception d'applications immersives. **Cela est en phase avec l'objectif de nos travaux qui est de proposer une démarche de conception applicable par l'entreprise pilote. L'objectif final est de proposer une mise en œuvre opérationnelle avec des méthodes et outils supports.**

4. Application n° 2 du modèle : Chasse aux risques

a. Objectifs visés

Concernant la contribution C2, il s'agit donc de pouvoir mettre une nouvelle fois notre modèle de processus de conception à l'épreuve d'un projet.

De plus, dans le cadre de l'étude de notre contribution C3, cette 2^{ème} expérimentation **porte plus spécifiquement sur l'étape de génération du scénario** qui est l'une des étapes critiques que nous avons ciblée lors du bilan du premier projet (cf. chapitre 4 p.79). En effet, elle doit être réalisée de manière collaborative en intégrant les utilisateurs finaux et l'ensemble des parties prenantes du projet. La co-création d'un scénario est une tâche difficile pour les concepteurs qui n'ont pas nécessairement suffisamment d'expertise en informatique.

Nous avons voulu analyser via une approche par objets intermédiaires de conception (OIC) la phase de travail collaboratif de réalisation des scénarios. Ici, trois sessions d'idéation avec deux groupes de concepteurs ont été étudiées.

b. Contexte

i. Demande de l'entreprise

Le projet porte sur une **formation immersive aux risques dans les ateliers textile**. Cela concerne les postes d'assemblage des produits textiles de l'entreprise.

Initialement, cette formation est effectuée **à l'arrivée de nouveaux opérateurs dans l'entreprise**. Elle est donnée par un **superviseur**.

La formation dure entre **une et deux heures** et se déroule **dans une salle classique équipée d'un vidéoprojecteur pour présenter le document de formation**.

Les nouveaux opérateurs étudient des ressources au format PDF, qu'ils consultent avec le superviseur. Le contenu concerne les risques courants dans les ateliers d'assemblage, tels que les règles de circulation, l'utilisation des transpalettes, le port des équipements de protection individuelle (EPI), etc.

La demande initiale est de faire évoluer la formation en la rendant plus immersive afin de mieux sensibiliser les nouveaux opérateurs.

Le groupe projet initial était constitué ainsi :

- Le client qui est le responsable de la production
- Quatre formateurs qui sont également des superviseurs du poste

- Un opérateur
- Nous-mêmes en tant qu'ergonome, ingénieur pédagogique, concepteur XR et pilote projet. En tant que pilote projet nous avons fait en sorte d'appliquer le processus mais également d'apporter des OICs à utiliser pendant la réalisation des scénarios. De cette manière, nous avons pu analyser la réalisation du projet de l'intérieur.

ii. *Etapes précédant la génération du scénario*

Nous avons suivi les étapes de la nouvelle version de notre modèle de processus de conception (cf.

Proposition du 2^{ème} modèle de processus p.85). Nous ne détaillerons pas l'ensemble des activités effectuées car nous étudierons par la suite la différence entre prescrit et réel lors de l'évaluation du modèle. Nous nous focaliserons donc principalement sur les activités qui ont permis la génération du scénario.

Etape A1 Définir le besoin (Figure 26 p.89) :

Tout d'abord, nous avons analysé la demande et la formation. Pour cela, plusieurs entretiens ont été menés avec le directeur de production, les formateurs et les personnes formées (**recueil de la demande du client « A12 » et des besoins exprimés des utilisateurs « A15 »**). Plusieurs problèmes ont émergé des entretiens :

- Peu de personnes se souviennent de la formation et de son contenu.
 - Une des raisons est qu'elle se déroule le premier jour d'arrivée dans l'entreprise avec un programme surchargé (présentation de l'entreprise, découverte du métier et des machines, etc.). Selon les personnes interrogées, il y a trop d'informations présentées le premier jour et il est donc difficile de tout retenir. Une autre raison est le manque d'interaction dans la formation. En effet, la formation est considérée comme minimaliste et manquant de situations réelles par rapport au lieu de travail.
- Les personnes qui suivent la formation n'ont pas encore découvert le poste de travail. Il leur est donc difficile de s'y retrouver parmi toutes les consignes de sécurité liées au travail à effectuer.
- Enfin, il n'y a pas de retour sur le suivi de la formation. Il n'y a pas d'évaluation, donc les formés sont moins motivés.

Etape A2 Réaliser la conception préliminaire (Figure 27 p.91) :

Dans le cadre de l'analyse de l'activité « A21 », nous avons recueillis des données sur la formation « A215 » et réalisé une revue des solutions technologiques disponibles « A216 », le groupe de projet a décidé d'utiliser la réalité virtuelle pour effectuer une chasse aux risques immersive (Figure 37) dans l'atelier (**validation de la séquence pédagogique immersive « A22 »**). Celle-ci est créée à partir d'images à 360° afin d'avoir une représentation très fidèle de leur environnement de travail. L'utilisation de plusieurs images permet au stagiaire de simuler plusieurs environnements de travail. De plus, la création d'une application de réalité virtuelle à

partir d'une image 360° est plus rapide et moins coûteuse à développer qu'une application avec un environnement 3D.

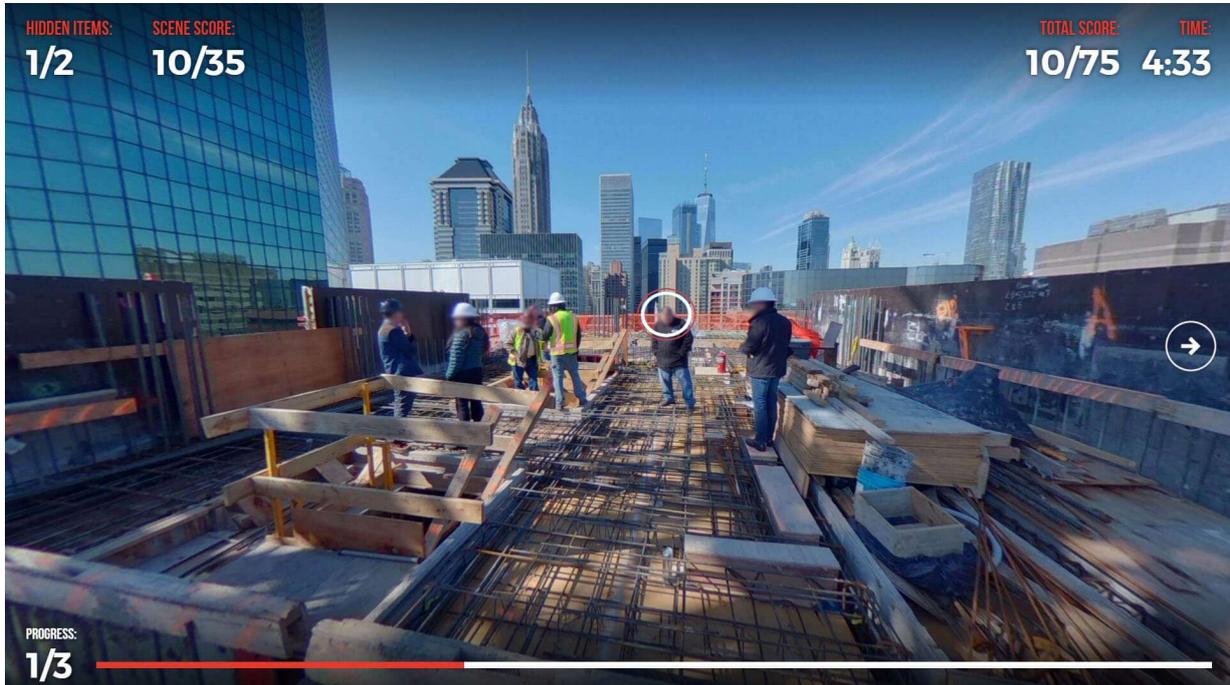


Figure 37 - Exemple de chasses aux risques sur les consignes de sécurité en hauteur (3DVista)

Il est ainsi attendu que le formé s'engage dans cette tâche avec pour objectif la détection des risques répartis au sein de l'espace de production, en parcourant les différentes images à 360° capturées dans l'atelier. Les bénéfices inhérents à l'adoption de cette technologie résident dans sa capacité à immerger le stagiaire au cœur de l'environnement opérationnel, à évaluer ses compétences et à favoriser une interaction proactive avec l'outil. Pour développer la solution, nous utiliserons une caméra Insta360, le logiciel 3DVista et Oculus Quest (HMD).

c. Etude de l'impact des OICs pour la génération des scénarios

Pour rappel, **l'objectif est d'analyser, via une approche par OIC, la phase de travail collaboratif de réalisation des scénarios.** Ici, cela consiste principalement en deux sessions d'idéation avec deux groupes de concepteurs qui ont (i) **choisi les différents lieux** de l'atelier et (ii) ensuite **attribué les risques** aux lieux.

i. Définition et construction des deux OIC retenus pour l'expérience

À la suite de l'analyse de la formation et une fois la solution technologique choisie, l'étape suivante selon notre modèle de processus est de créer le scénario pédagogique de l'application (étape A25, Figure 27 p.91).

Etant donné que créer le scénario consiste à choisir les différents lieux de l'atelier concernés et les risques à intégrer, nous avons déjà listé les risques initiaux rencontrés dans l'atelier à partir des documents de formation existants.

Pour affecter les risques aux lieux de l'atelier, nous avons utilisé deux OIC. L'OI1 (Figure 38) était un fichier Excel dans lequel se trouvait un tableau comprenant la liste des risques initiaux et une carte pour déterminer les endroits les plus appropriés pour les placer.

Nb cliché	Titre de la consigne	Risques	Commentaires
1	Règle de gerbage	Hauteur d'empilage mauvaise d'une zone de stockage à côté du poste	
1	Règle de gerbage	Opé qui ne respecte pas la zone de travail d'un engin de manutention	
1	Règle de gerbage	Hauteur d'empilage mauvaise d'une zone de stockage à côté du poste	Empilage de 3 machines au contrôle croisé
1	Utilisation transpalette	Tâche d'huile au sol	Près d'un engin
1	Utilisation transpalette	Transpalette mal stationné	
2	Produit absorbant	Tissus au sol ou sous un plot	
2	Circulation sur le poste	Opé qui marche à côté d'un chemin bleu	
2	Circulation sur le poste	Circulation sur un poste sans EPI	Personne en visite sur l'ilot
2	Emballage	2 opé qui travaillent	A l'emballage
2	Plot de test	Opé qui utilise un palan mais ne gère pas la charge	Sorti d'une machine d'une cabine
3	Plot de test	Opé qui cherche la panne avec ses mains et l'autre qui utilise l'homme mort	
4	Bons gestes	Plot de montage trop élevé/bas (ex travaille les coudes en l'air)	
5	Bons gestes	Montage ratière : utilisation du pignon outillage	Avec un 2ème opé qui a les mains dans la machine
6	Circulation sur le poste	Opé à un croisement avec des engins de manutention et qui ne regarde pas dans la direction du cariste	
7	Alerte évacuation		



Figure 38 - OI1 liste des risques initiaux en haut et carte de l'entreprise en bas

L'OI2 (Figure 39) était basé sur des photos à 360° imprimées au format A3 et cette fois-ci, les concepteurs ont été invités à utiliser des post-it pour placer les risques.



Figure 39 - OI2 : photo 320° complétée par des post-it

ii. Participants

Sept participants ont pris part à cette étude, ils sont les parties prenantes du projet : un directeur de production, quatre superviseurs (qui sont les utilisateurs finaux de l'application parce qu'ils sont les formateurs), un opérateur et le concepteur XR. Ils ont été répartis en deux groupes de quatre personnes (pour tenir compte des contraintes de rotation des équipes du matin et de l'après-midi) :

- Groupe 1 : deux superviseurs, le directeur de production et le concepteur de XR (nous-mêmes).
- Groupe 2 : deux superviseurs, l'opérateur et le concepteur de XR (nous-mêmes).

iii. Equipement

Pour cette étude, les éléments utilisés sont les deux OIC. Les OIC ont été appelées "outil" pour les personnes impliquées dans le projet. Tous les documents relatifs à la formation initiale étaient également disponibles. Ils ont été placés dans une salle de réunion.

Des photos des traces des revues de projets ont été prises en fin de session (Figure 39).

iv. Procédure

Les participants ont été invités à utiliser les OI fournis pour définir le contenu du scénario. L'échantillon a donc été divisé en deux groupes, qui ont travaillé de manière asynchrone. Un groupe a travaillé le matin et l'autre l'après-midi (*Tableau 5*). L'objectif était qu'à chaque rotation, un groupe poursuive le travail effectué précédemment. Il y a eu six revues de projet (RP) : trois

revues par groupe. La RP1 visait à (i) trouver des endroits à photographier et (ii) commencer à intégrer les premiers risques initiaux avec l'OI1. La RP2 était consacrée à l'intégration des risques restants dans l'OI2. La RP3 visait à réorganiser tous les risques dans chaque photo avec l'OI2. A la fin, les participants devaient répondre à un questionnaire.

	Objectifs	Matin	Après-midi
RP1 OI1	Trouver des endroits à photographier et intégrer les premiers risques initiaux	G1	G2
RP2 OI2	Intégrer les risques restants	G2	G1
RP3 OI2	Réorganiser tous les risques dans chaque photo	G1	G2

Legende :

RPX : Revue de projet X

GX : Groupe X

Tableau 5 - Procédure des revues de projet

v. Données recueillies

Les données recueillies sont les réponses à un questionnaire (annexe 6 p.185). Pour chaque question, nous avons demandé aux participants d'évaluer l'OIC (appelé "outils" dans l'enquête) entre 1 (pas du tout d'accord) et 5 (tout à fait d'accord). Les questions sont tirées de (Khatib, 2015) et (Kobenan, 2016). Les items retenus ont pour objectif d'évaluer l'impact de l'OIC sur la qualité de la collaboration :

- Aux ressources :
 - L'utilité
 - Les idées générées
 - Les décisions prises
 - La compréhension du projet
 - Les échanges et la communication
 - La motivation
 - La satisfaction
 - La collaboration
 - La cohésion du groupe
 - Le sentiment de crédibilité
- A la coordination
- Au partage des objectifs
- A l'intégration des expertises
 - Acquisition de connaissances de son propre domaine
 - Partage de connaissances
- Les stratégies de prise de décision

Nous avons également recueilli toutes les données et tous les documents utilisés ou produits au cours des RP. Nous avons participé à ces séances en tant que concepteur XR ce qui nous a permis de prendre part aux échanges et de recueillir des éléments de prises de décisions subjectifs au cours des différentes RP. A la fin de chaque RP, nous avons enregistré les décisions du groupe. Pour chaque RP, nous avons listé : les "**risques déjà placés**" de la RP précédente,

les "risques ajoutés à partir de la liste initiale" (à partir des documents de formation initiale), les risques de la RP précédent qui ont été "déplacés", les risques de la RP précédent qui ont été "supprimés", les nouveaux risques "ajoutés" à la liste initiale et les risques "placés" dans les images à la fin de la RP. Les traces recueillies sont présentées sur le Tableau 6.

	Déjà placés	Ajoutés de la liste initiale	Déplacés	Supprimés	Créés en plus de la liste initiale	Placés au total
RP1G1	0	10			0	10
RP1G2	10	4	0	0	0	14
RP2G1	14	7	5	2	15	34
RP2G2	34	0	0	0	9	43
RP3G1	43	0	4	15	0	28
RP3G2	28	0	1	1	1	28

Legende :
 RPX : Revue de Projet X
 GX : Groupe X

Tableau 6 - Décisions prises lors de l'intégration des risques

vi. Résultats de l'étude

Les résultats de l'étude sont présentés selon différents items qui sont décrit ci-dessous.

Représentation commune

La RP1 a débuté en utilisant l'OI1, basé sur le fichier Excel. Dans un premier temps, nous avons choisi les zones (photos) où se trouverait la personne en formation ainsi que les risques qui pourraient être présents. Il a été noté que les concepteurs éprouvaient des difficultés à conceptualiser l'environnement de l'atelier et à prendre des décisions concernant les zones et les risques à intégrer dans leur analyse. Ce blocage dans la capacité à visualiser de manière commune l'espace de travail a constitué un obstacle majeur à la génération de données. Comme illustré dans le Tableau 6, seuls 14 risques ont été validés au cours des revues, en agrégeant les résultats des deux groupes, à l'aide du fichier Excel.

Dans le cadre de la RP2, l'utilisation de l'OI2 a marqué une nette amélioration en ce qui concerne la capacité des individus à se projeter dans leur future expérience de formation. Les images à 360° fournies par l'OI2 ont rendu possible une représentation « plus authentique » de l'environnement de l'atelier, facilitant ainsi grandement la prise de décisions. À la clôture de la RP2, un total de 43 risques a été répertorié dans l'OI2 (à la suite du passage des deux groupes RP2G1 et RP2G2), comme illustré dans le Tableau 6.

L'OI2 s'est également avéré être un outil de communication efficace entre tous les intervenants, tant au sein d'un même groupe de projet qu'avec les concepteurs de l'autre équipe. Plus précisément, l'item « **Les échanges et la communication** » semble montrer que l'OI2 a contribué à stimuler la communication et les échanges entre les concepteurs. Les réponses suggèrent que l'OI2 surpassait l'OI1 (avec une moyenne de 4/5 pour l'OI1 et 4,9/5 pour l'OI2). Selon les participants, l'OI2 semble avoir grandement favorisé la communication et l'échange d'idées au sein du groupe de projet. De plus, l'OI2 semble avoir exercé **une influence notable sur la cohésion du groupe de projet** (avec une moyenne de 3,6 pour l'OI1 et 4,6 pour l'OI2 pour

l'item « cohésion »), et les participants ont rapporté se sentir davantage enclins à **partager leurs idées** (avec une moyenne de 3,7 pour l'O11 et 4,9 pour l'O12 pour l'item « crédibilité »).

Toutefois, il est à noter que les deux OIC ont reçu des **évaluations similaires en ce qui concerne la construction collective des idées** (avec une moyenne de 4,7 pour l'item « collectivité ») et les défis rencontrés dans la **collaboration avec les autres membres du groupe** lors des échanges (avec une moyenne de 1,7 pour l'item « collaboration »).

Choix du contenu de la formation

En ce qui concerne le choix du contenu de la formation, nous avons remarqué que l'O12 était plus bénéfique pour générer des nouveaux risques (qui font partie du contenu de la formation). Chaque participant pouvait facilement ajouter du contenu en plaçant ou en déplaçant les post-it sur les images. Cela a permis de mieux répartir les risques à travers les différentes zones et de garantir une uniformité du contenu, tout en évitant leur concentration à un emplacement unique. Cette approche permet ainsi de pleinement profiter de l'expérience de vue à 360° en réalité virtuelle. De plus, il leur a été assez facile de réorganiser le contenu en déplaçant simplement les post-it.

Sur le Tableau 6, pour l'O12, on peut observer qu'entre les RP 2 et 3, les participants ont déplacé 10 risques. On constate également que lors de la RP3, de nombreux risques ont été supprimés (16). Le questionnaire semble également montrer que **les participants ont trouvé l'O12 plus "utile" que l'O11** (moyenne O11 = 4 et O12 = 5 pour l'item « utilité »).

L'O12 semble également avoir eu un impact plus important sur le nombre d'idées générées (moyenne O11 = 3,6 et O12 = 4,9 pour l'item « idées générées ») et sur **les décisions prises** (moyenne O11 = 3,7 et O12 = 4,4 pour l'item « décisions prises »). Le questionnaire tend à montrer également que l'O12 a eu une plus grande influence sur la **motivation du groupe à travailler ensemble** (moyenne O11 = 2,9 et O12 = 4,3 pour l'item « motivation »). Nous avons pu observer lors des revues de projet que l'utilisation de l'O12 a fait agir tous les participants contrairement à l'O11 où ils étaient plus passifs.

Un autre avantage de l'O12 est que l'utilisation des images de l'atelier a permis de mettre en évidence des risques qui n'étaient pas mentionnés dans la liste initiale. Selon le Tableau 6, cela représente 25 risques supplémentaires. Ceci a offert aux participants une occasion de prendre pleinement conscience des risques présents dans l'atelier, et nous sommes convaincus que cette prise de conscience n'aurait pas été atteinte si nous avions uniquement fait usage de l'O11.

Satisfaction et atteinte des objectifs

Après toutes les revues de projets, nous avons présenté aux concepteurs un prototype de l'application. Lors d'un test, plusieurs commentaires de la part du groupe projet ont été faits tels que "la solution ressemble à ce que j'avais imaginé". Ces commentaires semblent montrer que **l'utilisation d'O12 a permis une bonne représentation de la solution finale**. En effet, d'après le questionnaire, il semble que l'O12 soit plus adapté que l'O11 pour **projeter les participants sur le futur support de formation** (moyenne de O11 = 3 et moyenne de O12 = 4,9 pour l'item « compréhension du projet »).

C'est un point important concernant l'acceptabilité de la solution car cela semble montrer que la solution proposée est proche de ce qu'ils voulaient et de ce qu'ils s'attendaient à utiliser (bien qu'ils ne soient pas des experts dans le domaine de la réalité virtuelle). De plus, selon l'enquête, **la plupart des participants ont estimé que les objectifs du projet avaient été atteints, puisque le score moyen était de 4,3 pour l'item « atteinte des objectifs ».**

Transformation de l'OIC et application finale

Le dernier avantage de l'OI2 par rapport à l'OI1 est qu'une fois le scénario validé, les images avec les post-it ont été transformées en story-board. L'OI2 est devenu une nouvelle représentation intermédiaire de la solution. Pendant les prises des photos, la préparation des scènes a été très rapide car nous avons recréé ce qui avait été fait sur les versions papier des photos 360°.

d. Evaluation du processus de conception

Comme pour les expérimentations précédentes nous commencerons par évaluer le résultat du processus utilisé puis sa mise en œuvre via une analyse prescrit/réel.

i. Evaluation du résultat obtenu

L'application du processus a permis de répondre favorablement à la demande. Le résultat est une application de formation VR basée sur quatre images 360° qui ont été prises dans l'atelier à différents endroits. Vingt-huit risques ont été mis en place dans les images que l'apprenant doit trouver (Figure 40). Selon le client, la solution est adaptée et répond à la problématique du projet. D'après les formateurs, la solution est un bon support de discussion pour échanger avec l'apprenant s'il n'a pas compris une situation. Les apprenants apprécient d'avoir des mises en situations concrètes pour observer les situations à risques à l'atelier et comment les éviter. C'est plus immersif que les documents PDF de la formation initiale. Le modèle de processus de conception proposé a bien permis de répondre à la demande du client.

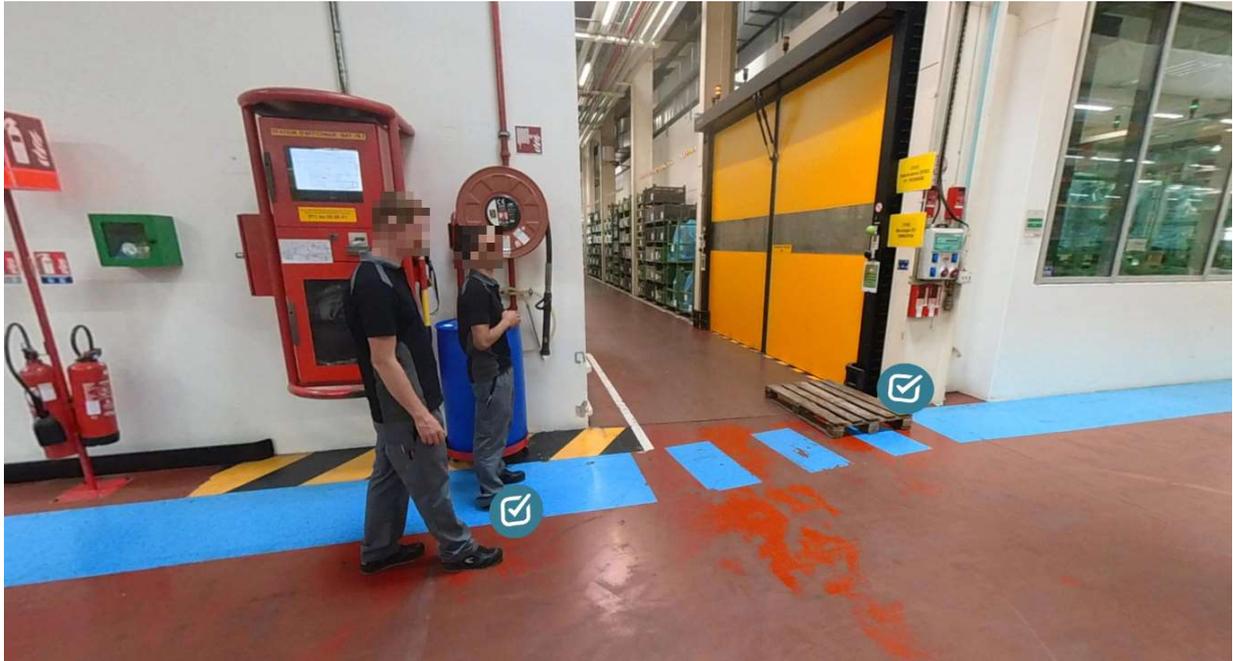


Figure 40 - Résultat du processus : Application chasse aux risques immersive

ii. *Différence entre le prescrit et le réel*

Pour évaluer notre processus entre le prescrit et le réel, nous avons réutilisé le code couleur suivant :

- Orange : les étapes qui ont déjà été réalisées en amont du lancement du projet et qui font partie du processus
- Vert : les étapes qui ont été réalisées pendant le projet et qui font partie du processus
- Rouge : les étapes du processus qui n'ont pas été réalisées

Globalement, le processus a pu être appliqué entièrement comme nous pouvons le voir sur la Figure 41, la Figure 42 et la Figure 43. Les seules étapes qui n'ont pas été réalisées concernent :

- **La réalisation d'un benchmark « A14 »** (Figure 41) : étant donné que la solution technologie était imposée, nous n'avons pas réalisé de recherche d'autres technologies. Nous avons uniquement essayé différents cas d'usage accessibles sur le site de l'éditeur du logiciel pour tester différents rendus.
- **La réalisation de vidéos d'observation « A211 »** (Figure 42) car aucune session de formation n'était prévue pendant le projet. Nous n'avons donc pas pu observer une formation.
- Nous n'avons pas non plus **réalisé d'entretiens avec les formateurs et apprenants « A214 »** (Figure 43). Nous en avons cependant réalisé en amont lors de la **récupération des besoins exprimés « A15 »**.

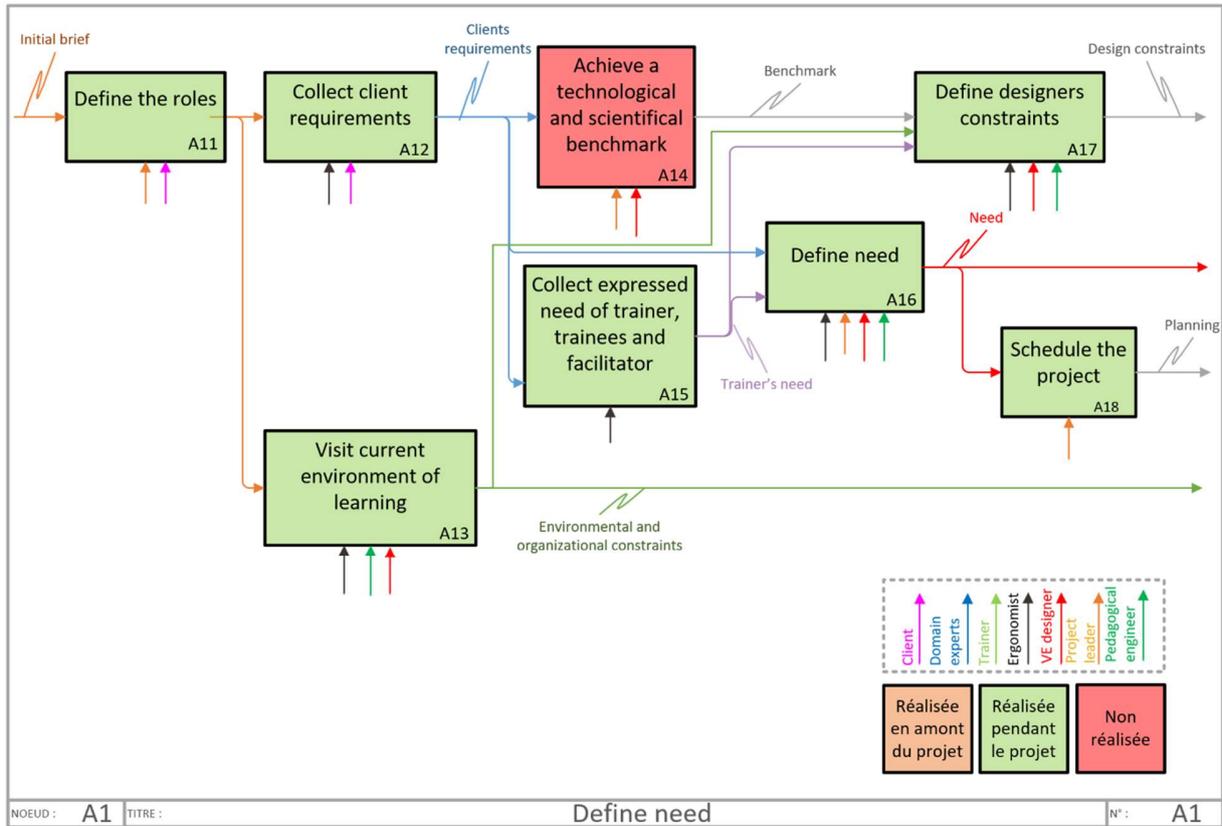


Figure 41 - Schéma prescrit réel de l'étape A1 du projet Chasse aux risques

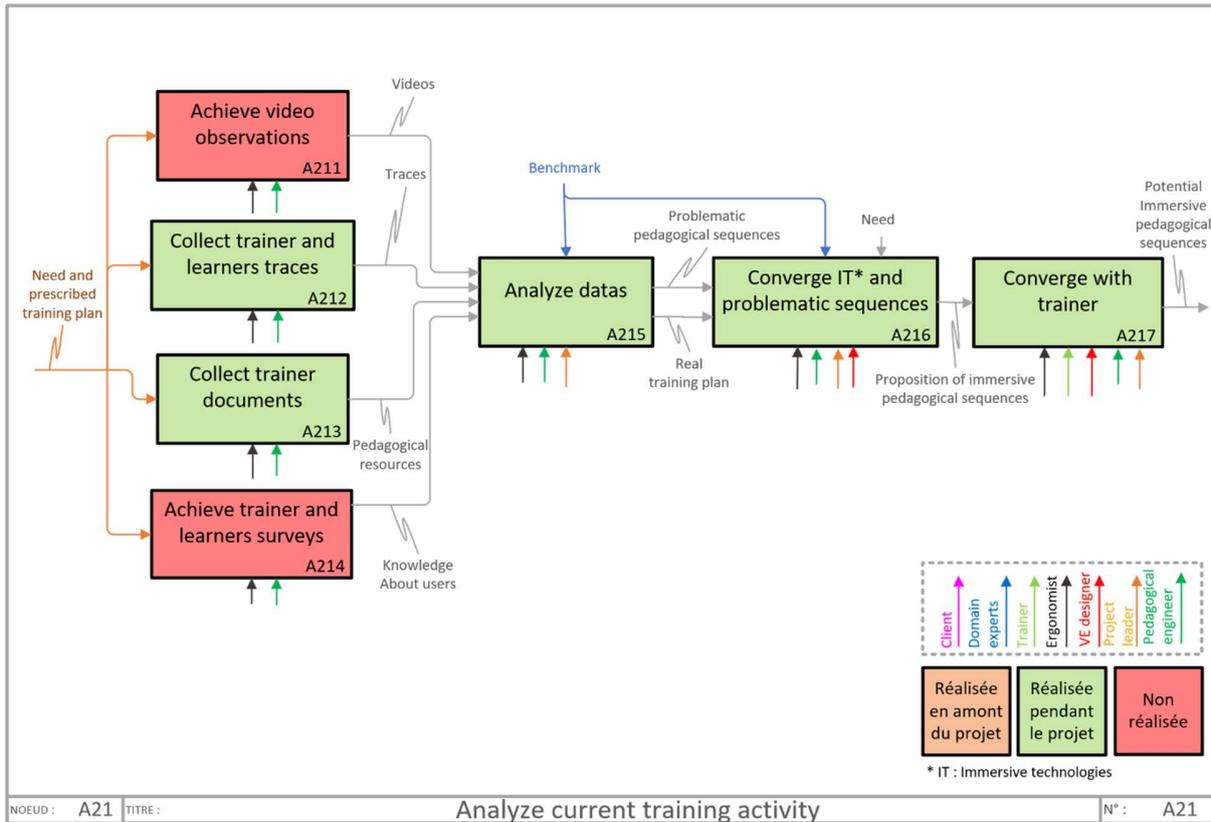


Figure 42 - Schéma prescrit réel de l'étape A21 du projet Chasse aux risques

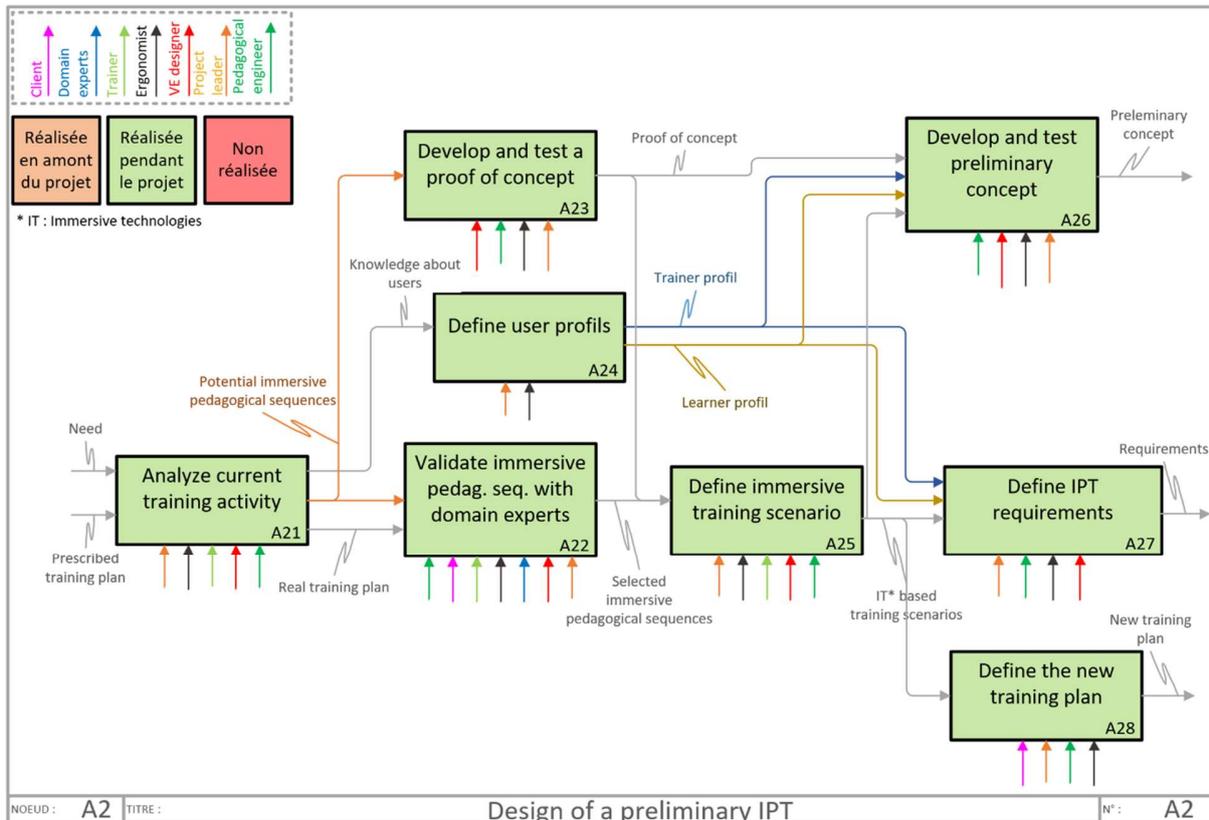


Figure 43 - Schéma prescrit réel de l'étape A2 du projet Chasse aux risques

e. Discussion

i. Etude phase de travail collaboratif de réalisation des scénarios

L'utilisation de deux OIC différents a permis de mettre en valeur les deux axes complémentaires liés au dialogue collaboratif lors d'un projet de conception définis par Mer et al. (1995) :

- L'axe lié à la communication entre concepteurs : objet commissionnaire ou médiateur. L'objet commissionnaire transmet l'idée, l'intention fidèle de son auteur alors que l'objet médiateur modifie l'intention initiale de son auteur du fait de sa matérialisation.
- L'axe lié à l'appropriation : soit l'OIC accepte des modifications éventuelles et il est dit « ouvert » soit il ne supporte aucune modification et il est dit « fermé ».

En effet, les résultats observés confirment bien que le choix de l'OIC a un impact sur la compréhension du futur artefact. Ici, on peut raisonnablement avancer que les photos 360° ont joué un rôle crucial dans la compréhension du fonctionnement de l'application ainsi que dans la manière dont les opérateurs ont réussi à se projeter dans la future activité. Ce qui leur a également permis de mieux se comprendre entre eux lors des échanges et donc prises de décisions. De plus, il semble que la sélection judicieuse d'un OIC puisse grandement faciliter les processus

décisionnels en matière de conception, surtout pour les individus qui ne sont pas des experts en technologie immersive et dans leurs applications, en les aidant à visualiser le contenu de manière plus claire.

Nous pouvons constater que l'OI2 a été plus médiateur et ouvert que l'OI1 sur l'axe de l'appropriation de Mer et al. En effet, l'OI2 a permis de générer plus de contenus de formation (caractères ouverts) mais aussi de créer du contenu qui n'était pas dans la formation initiale grâce aux photos de l'atelier (caractère médiateur) (Boujut, 2003). L'OI2 a aussi amélioré les échanges entre les concepteurs. Ces caractéristiques sont intéressantes pour que l'OIC puisse avoir un impact positif sur l'équipe projet pour la génération d'un scénario.

Dans notre cas, l'utilisation d'un OIC approprié est un facteur de réussite pour le projet, car la conception a été effectuée par des personnes qui ne sont pas des experts de la technologie et qui se montrent réticentes à l'adopter. Cela leur a donné la possibilité de s'investir dans le projet et de participer dans les RP. L'OI2 a motivé les personnes à travailler ensemble avec leurs propres ressources et à sentir que la solution finale correspond aux choix de décision réalisés en commun.

La limite de cette expérimentation est que les résultats sont tirés d'une première étude avec un petit échantillon de participants. Cela est dû à des contraintes industrielles et temporelles. Les résultats de l'enquête représentent des preuves préliminaires, mais elles doivent être complétées par un protocole plus robuste. Par exemple, nous pouvons envisager de comparer d'autres types d'OIC comme des prototypes physiques, des dessins ou des textes dans différents contextes de formation professionnelle.

ii. Etude de notre deuxième proposition de processus de conception de FPI

Concernant notre proposition de modèle de conception de FPI, nous pouvons faire ressortir que notre modèle de conception est globalement adapté à la typologie de projet qui a été traitée. La différence entre les tâches prescrites par le modèle et les tâches effectuées sont minimes. Elles s'expliquent d'ailleurs par des données d'entrées existantes. Par exemple, le fait d'avoir déjà choisi la technologie nous a évité de réaliser l'activité A14 (Figure 41 p.116). Cependant cette contrainte d'imposer la technologie aura peut-être bridé la proposition d'autres solutions possibles.

Une nouvelle fois, pour ce projet, nous étions le référent méthodologique et notre bonne connaissance du modèle nous a permis d'adapter facilement ce dernier aux conditions concrètes du projet. Notre immersion dans l'équipe projet nous a permis de constater que le responsable de la maîtrise n'avait pas la capacité de réaliser cette gestion au niveau méthodologique. Dans le cas de futurs projets, sans notre intervention, nous pouvons poser la question : **Comment retranscrire notre connaissance fine du modèle aux équipes de l'entreprise pilote ?** ou encore **Quel formalisme et/ou quelle ressource pourrait permettre à une personne désignée comme chef de projet d'utiliser notre modèle si elle n'a pas de connaissances au préalable sur le modèle et les activités à réaliser ?** Une solution pourrait être de proposer une ressource support qui permettrait au chef projet de retrouver des informations sur le modèle comme :

- Le descriptif des tâches
- Comment effectuer la tâche
- Les personnes à solliciter
- Le temps de réalisation
- Les outils à disposition

- Le livrable à rendre

Cela confirme une nouvelle fois notre objectif de thèse qui est de proposer à l'entreprise pilote un modèle de **conception applicable par l'entreprise pilote**.

f. Conclusion

Nous avons présenté notre deuxième application de notre nouvelle version de processus pour un projet de chasse aux risques immersives. Ici, nous avons comme contrainte que la technologie était imposée cependant l'activité de formation était courte et nous avons à disposition un plan de formation. Malgré cela, des caractéristiques d'adaptabilité de notre modèle ont été observées. Cependant, nous n'avons toujours pas d'information concernant son appropriation par les équipes de l'entreprise pilote. En effet, les contraintes humaines et matérielles nous ont amené à tenir ce rôle de référent méthodologique. **Cela confirme que nous devons veiller à la mise à disposition d'un guide méthodologique adapté aux connaissances et compétences des équipes de l'entreprise pilote.**

Notre étude préliminaire sur les phases de travail collaboratif semble montrer que l'utilisation des bons OIC pour concevoir un exercice de formation en réalité virtuelle présente des avantages, en particulier pour la définition des scénarios. En effet, il semble que d'un OIC à un autre les conséquences sur la manière de co-concevoir le scénario soient différentes. Cette étude permet de mettre en évidence l'intérêt du choix du bon OIC lors des phases de convergence comme déjà démontré dans de nombreux travaux cités précédemment.

5. Application n°3 du modèle de conception : Ratière V2

a. Objectif expérimental

Concernant la contribution C2, il s'agit donc de pouvoir mettre une nouvelle fois notre modèle de processus à l'épreuve d'un projet.

Nous avons voulu observer la mise à l'épreuve de notre nouveau modèle sur un projet de reconception.

b. Demande de l'entreprise

Le dernier projet de cette 2^{ème} série expérimentale concerne la reconception du projet Ratière (cf. Chapitre IV : Expérimentation initiale : proposition d'un premier modèle de conception de FPI).

À la suite de l'évaluation du modèle de processus utilisé dans le cadre du projet ratière (cf. chapitre Evaluation du processus p.67), nous avons pu observer que l'utilisabilité de l'application était bonne mais qu'elle n'était pas perçue comme assez utile. Après mise en production, le formateur désigné a peu utilisé l'application à cause de sa faible utilité perçue. Nous avons pris la décision de reconcevoir l'application afin de l'améliorer.

Plusieurs limites ou difficultés ont été émises vis-à-vis de l'application :

- Le processus de montage est trop contraignant (pas assez de marge de manœuvre)
- L'exercice est long
- Le réglage du pignon n'est pas abordé
- Trop d'exercices prévus dans le plan de formation
- La formation ne rentre pas assez dans le détail pour expliquer la synchronisation

L'objectif principale est donc d'améliorer son utilité pour les utilisateurs.

Le groupe projet initial était constitué ainsi :

- Le client qui est le responsable de la production
- Un expert du domaine qui est opérateur et référent du poste
- Nous-mêmes en tant qu'ergonome, ingénieur pédagogique et pilote projet. Nous avons fait en sorte d'appliquer le processus. De cette manière, nous avons pu analyser la réalisation du projet de l'intérieur.
- Un concepteur XR externe à l'entreprise. Il s'agit de la même agence que pour le développement de la première version du projet ratière.

c. Application du 2nd processus de conception de FPI

Nous avons mené le projet en suivant notre modèle de processus de conception. Les paragraphes suivants décrivent les activités réalisées.

Etape A1 « Définir le besoin » (Figure 26 p.89) :

La typologie du projet « reconception » a eu un impact sur les phases qui ont été effectuées. Les tâches réalisées sont :

- **La collecte du besoin client « A12 »** : il n'a pas beaucoup évolué. Ce que le client attendait était l'amélioration de l'application et une plus grande fréquence d'utilisation.
- **Le recueil des besoins exprimés par les formateurs, apprenants et facilitateur « A15 »** : nous n'avons pas conduit d'entretiens. Nous nous sommes basés sur les retours des utilisateurs lors de l'évaluation de la première version de l'application pour définir ces besoins (cf. chapitre [Résultats](#) p.72)
- **La définition du besoin « A16 »**. Pour reconduire ce projet, nous avons validé le besoin avec le client. Ici le besoin final était d'améliorer l'utilité perçue de l'application existante.
- **Planification du projet « A18 »** : nous avons adapté le planning du projet en fonction de ses contraintes. Nous avons ciblé les étapes nécessaires pour améliorer l'application à partir de notre processus de conception.

Etape A2 « Réaliser la conception préliminaire » (Figure 27 p.91)

Lorsque nous avons réalisé la seconde phase « **Réaliser la conception préliminaire** », certaines étapes n'ont pas été reconduites.

Tout d'abord, nous allons détailler les étapes qui ont été réalisées pour l'activité « **A21 : Analyse de la formation actuelle** ». La formation étant déjà connue, certaines étapes non pas eu besoin d'être réalisées.

Activités réalisées pour « A21 Analyse de la formation actuelle » (Figure 28 p.92) :

- Pour « **A215 : analyse des données** », quelques données ont été récoltées d'après les analyses déjà réalisées lors du précédent projet (cf. chapitre Expérimentation : Projet Ratière p. 61).
- Pour « **A216 : Faire converger TI et séquences problématiques** » : nous n'avons pas convergé avec d'autres technologies immersives car nous avons pris la décision de modifier l'application existante. Cependant nous avons cherché comment améliorer l'application existante en gardant la même technologie.
- Nous avons ensuite « **convergé avec le référent A217** » afin de proposer plusieurs solutions à l'amélioration de l'application existante. Nous détaillerons cette étape car elle a mis en évidence des problématiques de convergence et de travail collaboratif. Cette activité s'est déroulée sur deux séances :
 - Séance 1 : Travail sur la formation de manière globale
 - **Objectif** : Valider l'utilité
 - **Livrable** : Des séquences pédagogiques immersives potentielles
 - **Modalité** : Lister les fonctionnalités de l'application à l'aide de la méthode MoSCoW (Drecq, 2020)
 - Séance 2 : Travail sur la formation de manière plus détaillée
 - **Modalité** : Méthode de créativité « Je rêve ... ». Nous leurs avons demandé de nous raconter comment ils expliqueraient le procédé à réaliser s'il n'y avait aucune contrainte physique ou technique.

Les personnes qui ont participé à ces échanges sont :

- **Le client** pour s'assurer que la solution réponde à la demande initiale
- **L'expert domaine** qui représente le métier et la formation ainsi que les futurs utilisateurs
- **Le concepteur XR** pour guider l'équipe concernant la faisabilité technique
- **Le pilote projet** pour assurer le bon déroulé des séances et du projet

Lors des réunions, nous avons apporté une maquette représentant une partie de la ratière pour avoir un moyen de communication entre les acteurs et avoir un référentiel commun (Figure 44). En effet, lors de l'ancien projet ratière, il a été souligné une difficulté pour se représenter le contenu de la formation, pour se projeter autour du produit. Cette maquette a joué le rôle d'OIC.

Cet OIC représente une ratière à échelle 1 :1 et nous avons détaillé les composants utilisés lors des étapes du montage du couple conique. Il est possible de démonter et remonter les éléments pour simuler le montage et le démontage. Ainsi, les acteurs avaient la possibilité de simuler les opérations pour illustrer leurs propos pendant les réunions.



Figure 44 - OIC : maquette d'une ratière

En plus de la maquette, les participants des revues de projet avaient à disposition des photos, des vidéos et un scénario.

Grâce à cette étape, nous avons pu faire des propositions d'améliorations de l'application à travers **des séquences pédagogiques immersives** à ajouter à l'application ou encore d'autres à améliorer :

- Ainsi, nous avons pris la décision d'intégrer une étape supplémentaire à l'application, à savoir "le contrôle du pignon", dans la configuration du couple conique. Étant donné que cette étape était nouvelle et que le concepteur XR n'en avait pas une bonne compréhension, notre équipe a opté pour l'utilisation de la maquette afin de mieux comprendre cette étape. L'expert a pu expliquer au concepteur XR sa demande par l'intermédiaire de la maquette.
 - Lors des réunions de travail, l'un des commentaires, émis par le développeur spécialisé en RV, était qu'il trouvait plus aisé de saisir l'étape de « contrôle pignon » lorsqu'une maquette était disponible. Il a également souligné que l'arrivée tardive de cette maquette dans le projet actuel avait rendu son travail plus complexe, et qu'un accès plus précoce à ce type de maquette aurait grandement facilité le développement lors du projet précédent (projet ratière initial).
- De plus, les utilisateurs ont fait remarquer le manque de liberté dans la manière de réaliser les opérations du réglage du couple conique ainsi que le manque de compréhension de l'étape synchronisation. Nous avons décidé de proposer davantage de marge de manœuvre pour le formé dans l'application et d'afficher des aides contextuelles pour mieux comprendre le fonctionnement de la machine lié à l'étape de synchronisation.
- Une fois que nous avons plusieurs séquences pédagogiques immersives à proposer avec le référent, nous les avons présentées aux experts **lors d'une réunion pour les valider « A22 »**.

- Nous avons ensuite travaillé le **scénario de formation immersive « A25 »** pour l'adapter aux propositions faites précédemment.
 - En raison des modifications apportées au scénario, le concepteur XR a mis à jour sa proposition budgétaire initiale à la hausse. Nous avons donc convoqué les parties décisionnaires pour solliciter une augmentation de l'enveloppe budgétaire. Nous leur avons fait 3 propositions :
 - Prendre en compte toutes les modifications et augmenter le budget du projet
 - Prendre en compte une partie des modifications et augmenter un peu le budget
 - Ne pas prendre en compte toutes les modifications et entrer dans le budget
- Nous avons utilisé la méthode MoSCoW pour prioriser les modifications les unes par rapport aux autres. Le décideur a pris la décision de prendre en compte toutes les modifications en augmentant le budget du projet pour assurer une utilisation par les formateurs et apprenants.
- Une fois les modifications acceptées, le **cahier des charges a été rédigé « A27 »**.

A3 « Réaliser la conception détaillée » (Figure 29 p.93) :

Lors du développement, nous avons reçu plusieurs versions intermédiaires de l'application afin de valider les fonctionnalités attendues.

Dès lors que nous avons eu un prototype fonctionnel, nous avons décidé de le faire tester par des utilisateurs (des formateurs et des apprenants) ainsi que l'expert domaine et le client. Les retours que nous avons eu lors des tests de l'application ont été très positifs. L'application était jugée plus fonctionnelle et plus utile. De plus, l'utilisabilité a été améliorée ce qui est un confort pour l'utilisateur.

Ces retours n'ont pas été formalisés à travers des protocoles expérimentaux par manque de temps. Le temps de réponse entre l'envoi de la version et les retours était très réduit. Malgré tout notre position privilégiée dans le groupe projet nous a permis de collecter ces retours qualitatifs.

d. Evaluation du processus de conception

Afin d'évaluer notre processus de conception, nous avons évalué le résultat du processus (l'application livrée) et la différence entre le prescrit par notre modèle et le réel des actions effectivement réalisées par l'équipe projet.

i. Résultat du processus

La reconception de l'application était nécessaire pour qu'elle soit utilisée. **La définition de l'utilité était un axe majeur de ce projet de reconception.** Le travail sur l'utilité a permis de générer plusieurs améliorations dans notre application, principalement en proposant aux formateurs des fonctions qu'ils ne possèdent pas à l'atelier afin de s'en différencier. Ainsi, nous avons offert la possibilité de choisir les scénarios de formation à jouer, de proposer différents scénarios pour le réglage du pignon, de choisir quelle partie du montage réaliser, d'avoir plus de liberté dans la

manière de travailler et de montrer l'intérieur de la machine en donnant des explications pour donner un meilleur support d'information pour expliquer la synchronisation.

Afin de répondre à ces améliorations, nous avons modifié l'interface de démarrage de l'application (Figure 45) en conséquence. Par exemple, pour le couple conique le formateur peut maintenant choisir la valeur du jeu (qui était définie de manière aléatoire dans l'ancienne version). Le couple conique étant un exercice long, nous l'avons également divisé en deux parties. Ainsi, si le formateur estime que l'apprenant doit travailler davantage une partie ou une autre il peut adapter le contenu de la formation. Nous avons également créé des aléas lors du réglage du pignon afin que le formateur ait également le choix du défaut à reconnaître.



Figure 45 – Interface de l'application

De plus, pour la synchronisation, nous avons ajouté des vidéos pour montrer l'intérieur de la ratière et expliquer l'impact de la synchronisation sur le bon fonctionnement de la machine (Figure 46). Les vidéos sont affichées en arrière-plan et se déclenchent lors des opérations.



Figure 46 – Environnement virtuel de l'application

L'application a été remise au référent qui s'est chargé de former de nouveaux apprenants. Selon lui l'application est bien plus utile car elle est plus adaptée à son besoin donc il a davantage envie de l'utiliser. Désormais l'application est plus représentative des différentes manières de travailler car le scénario est moins contraignant. Avec les représentations de l'intérieur de la machine, il bénéficie d'un support de formation pour mieux expliquer la synchronisation. Il s'agit d'un contenu dont ils ne disposent pas sur le poste et qui manquait à l'ancienne version de l'application. Le référent a souligné que les modifications réalisées avaient amélioré significativement l'application et que dorénavant elle était adaptée pour une mise en production en formation. Le nombre de formés restreints, car dépendant de besoins en production fluctuants, ne nous a pas permis d'aller plus loin dans l'évaluation de l'application. Malgré tout, au regard des différents retours et de la montée en utilisation de l'application, nous pouvons donc dire que le résultat a rempli les objectifs initiaux puisque la solution répond au besoin.

ii. Différence entre le prescrit et le réel

Ce projet a été mené différemment des précédents puisqu'il s'agissait de la reconception d'une application existante. Nous pouvons observer que dans **l'étape A1 Définir le besoin** (Cf. Figure 47) certaines étapes n'étaient pas à reconduire :

- La définition des rôles « A11 »
- La visite de l'environnement de travail « A13 »
- La réalisation d'un benchmark « A14 »,
- La définition des contraintes des concepteurs « A17 »

Les étapes qui ont dû être réalisées sont :

- La collecte du besoin du client « A12 »
- La définition du besoin « A16 » qui s'est avérée plutôt être une définition de l'utilité
- La planification du projet « A18 » afin d'adapter les étapes à réaliser au profil du projet

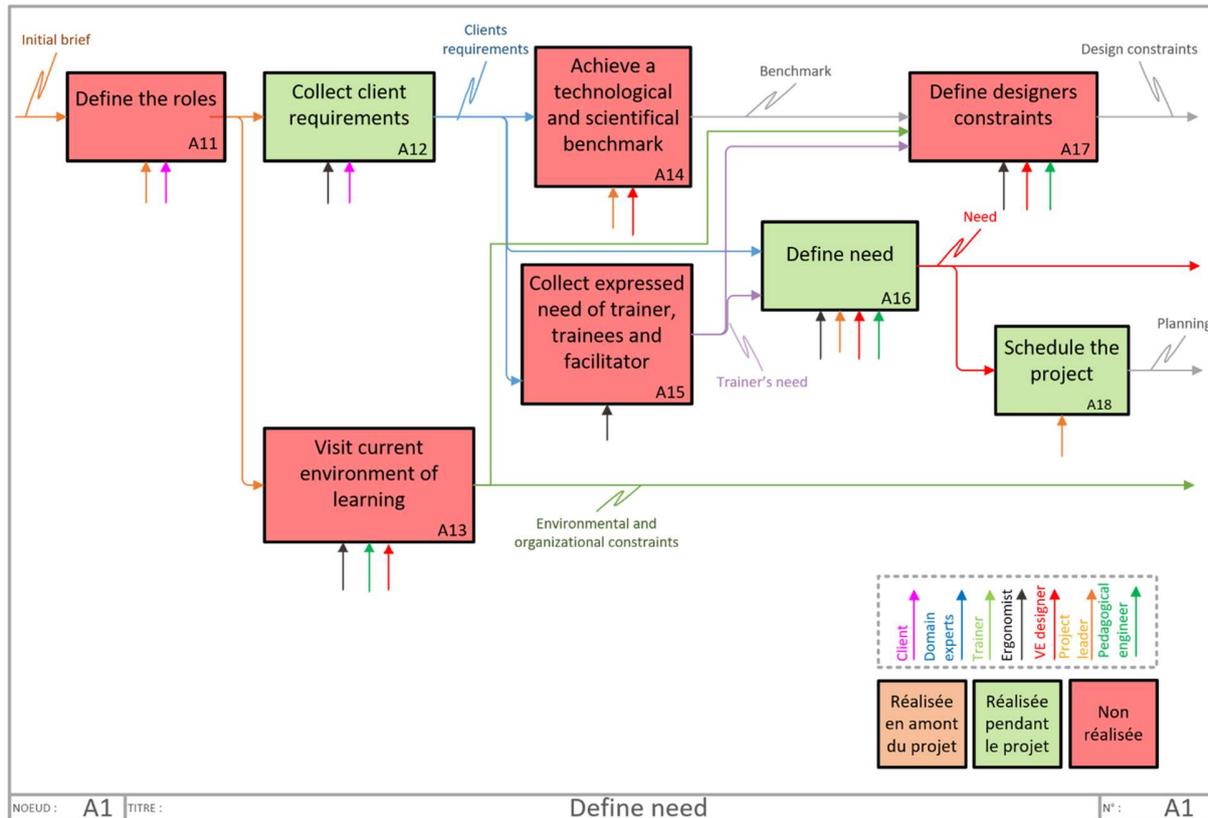


Figure 47 – A1 « Définir le besoin »

Pour l'étape A2 « Réaliser la conception préliminaire », les étapes qui n'ont pas été réalisées sont (Figure 48) :

- **Définition des profils utilisateurs « A24 » :** ils étaient déjà disponibles car provenant du précédent projet
- **Définition du nouveau plan de formation « A28 » :** il était également disponible
- **Réalisation d'une preuve de concept « A23 » et d'un concept préliminaire « A26 » :** l'application initiale tenait le rôle de POC à ce niveau du projet

Les étapes réalisées sont :

- **Analyse de l'activité existante « A21 » :** réalisée par l'intermédiaire des tests effectués lors du projet précédent
- **Valider la séquence avec le client « A22 » :** afin de développer des séquences pédagogiques immersives potentielles

- **Définition du nouveau scénario pédagogique « A25 »** : en vue de faire coïncider le scénario avec les adaptations demandées par les nouvelles séquences pédagogiques.
- **Définition du cahier des charges « A27 »**.

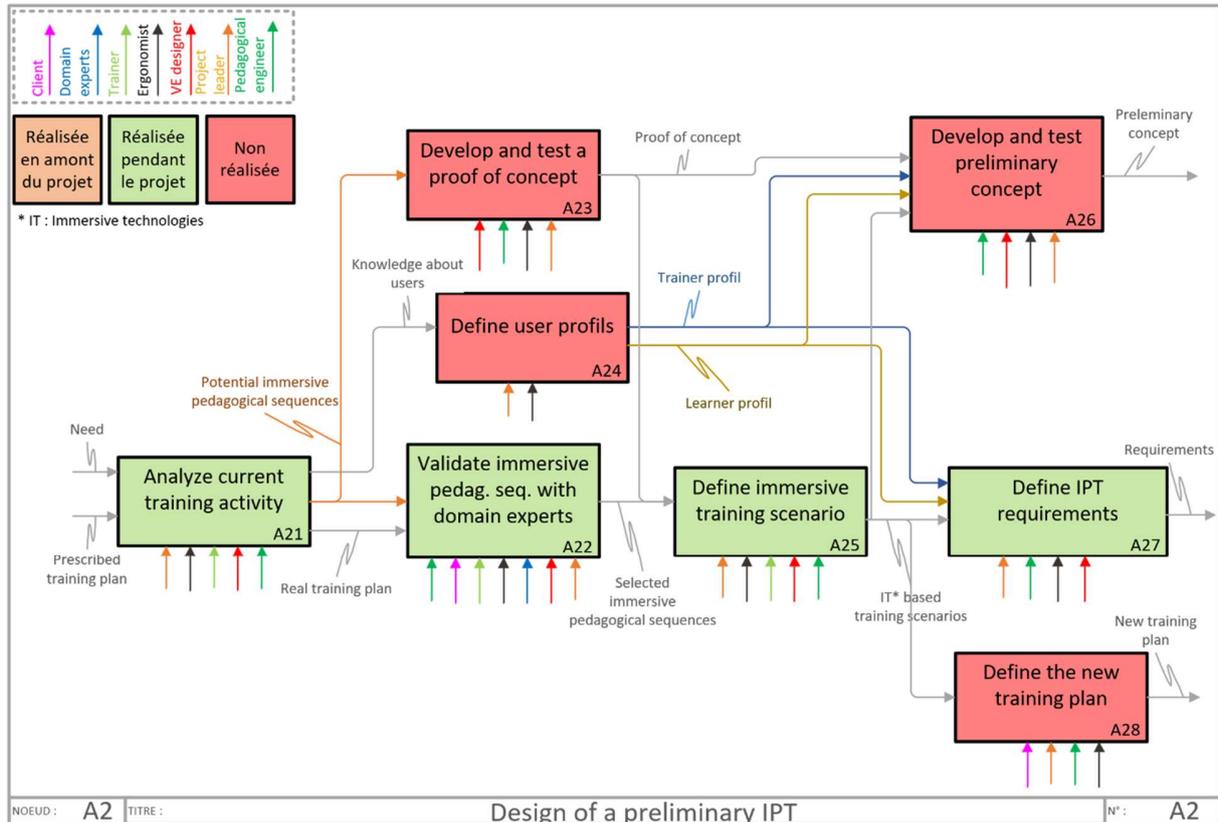


Figure 48 – A2 « Réaliser la conception préliminaire »

Concernant la sous-étape « **Analyse de l'activité actuelle A21** » (cf. Figure 49), nous avons déjà récupéré beaucoup de données lors du premier projet. Les étapes qui n'ont pas été réalisées sont :

- **Réalisation de vidéos d'observations « A211 »**
- **Réalisation d'entretiens « A212 »**
- **Récupération des traces du formateur et de l'apprenant « A213 »**
- **Récupération des documents de formation « A214 »**

Les étapes réalisées sont :

- **L'analyse des données « A215 »** : à partir des feedbacks de l'utilisation de la précédente version. Ces feedbacks avaient été récupérés après utilisation de l'application par des apprenants et des formateurs (cf. chapitre Evaluation de l'UX et de la pertinence pédagogique avec des formés et formateurs de l'entreprise p.68). Nous avons pu faire ressortir des séquences pédagogiques problématiques.

- **Converger « A216 »** les axes d'amélioration avec notre solution informatique pour proposer de nouvelles séquences pédagogiques immersives ou des séquences modifiées
- **Mise en commun avec le formateur et le concepteur XR « A217 »** pour valider une ou des séquence(s) pédagogique(s) immersive(s)

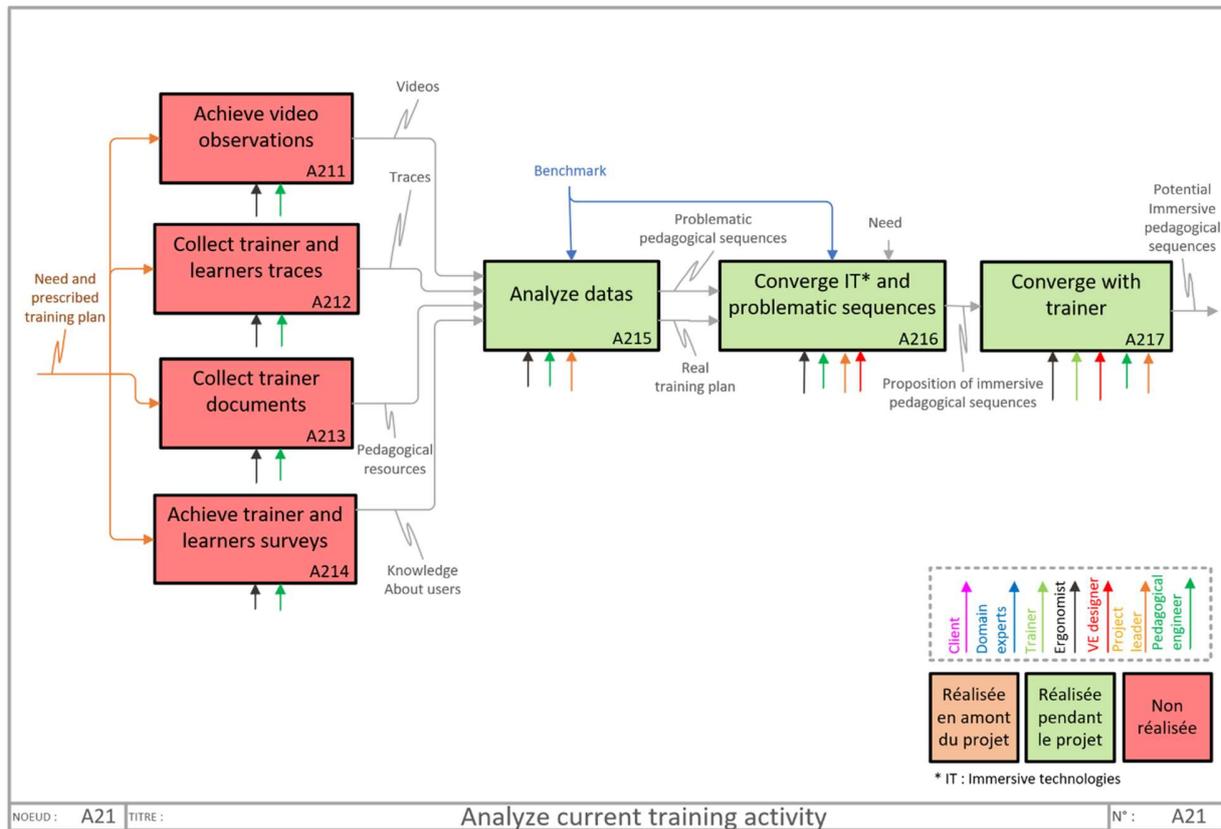


Figure 49 – A21 « Analyse de l'activité »

e. Discussion

La réalisation de ce projet a de nouveau mis à l'épreuve notre deuxième modèle de processus de conception FPI mais dans un contexte différent des deux précédents. Dans le cadre de ce projet de reconception d'une application immersive de formation, la comparaison entre le processus prescrit et réel a pu mettre en évidence les étapes à conduire dans ce cas de figure.

En effet, nous nous apercevons que le processus tel qu'il a été prescrit est adapté à la typologie du projet. La différence entre le prescrit et les tâches effectuées sont minimales. L'équipe projet était la même que l'équipe initiale donc les concepteurs se sont rendu compte qu'il n'était pas utile de réitérer certaines tâches puisque certains livrables des tâches à effectuer étaient déjà existants. Cependant l'équipe a été capable de juger lorsqu'il était nécessaire de répéter certaines tâches comme la rédaction du scénario de formation immersive « A25 ».

Comme nous l'avons déjà mentionné, au regard de la littérature, un modèle de processus n'a pas besoin d'être totalement correct pour être utile et l'exactitude de celui-ci ne garantit pas non plus son utilité (Heisig, Clarkson and Vajna, 2010b). De plus, un modèle qui est inadapté sur certains aspects peut être utile à condition qu'il permettent à ses utilisateurs de comprendre ce que le modèle peut lui apporter (Heisig, Clarkson and Vajna, 2010b). Dans notre cas, c'est exactement cette situation que nous avons rencontrée. Nous avons à notre disposition l'ensemble des tâches potentielles à réaliser et nous avons « puisé » dans cet ensemble pour choisir celles qui étaient les plus pertinentes à mener pour le projet. Ainsi les résultats du projet précédent ont été utilisés sans problème via le modèle de processus de conception proposé. Cela met en évidence que le processus est adapté à un projet de reconception même si nous n'avons pas réalisé certaines tâches cette fois-ci. En évitant de refaire certaines tâches, cela nous a également permis un gain de temps dans la réalisation du projet.

L'OIC utilisée pendant le projet, qui représentait à échelle 1 :1 le produit à assembler, a pu servir à travailler l'utilité de l'application. La maquette en question a été utilisée lors des phases co-créative avec le formateur et le concepteur XR ainsi que pour le concepteur XR seul lors du développement. D'après nos observations, en tant qu'observateur immergé dans l'équipe, nous avons constaté que l'utilisation de la maquette a permis d'améliorer la collaboration entre les différents acteurs. Elle a permis à l'expert domaine d'avoir un support pour illustrer ces messages d'explication et au concepteur XR d'avoir un visuel pour mieux le comprendre. Ils avaient un référentiel commun lors de leur discussion. Au sens de Boujut, l'OIC a principalement servi de commissionnaire afin de faire passer des messages entre les différents acteurs du projet. Il ne modifiait en rien l'idée ou l'intention de son producteur. L'OIC a permis de mieux représenter le mode opératoire. Nous avons cependant été limités par la maquette lors de séances. En effet, les membres de l'équipe auraient aimé se servir de cette base pour anticiper des éléments de la future application. La maquette, en tant qu'OIC, n'avait pas toutes les caractéristiques attendues lors des séances de travail. Il nous a manqué une approche méthodologique en amont pour définir l'OIC en fonction des attentes des métiers. En résumé, le choix et la construction d'un OIC selon les objectifs de collaboration est primordial pour la réussite des RP. On pourrait s'inspirer des travaux d'Al Khatib sur la proposition d'un cadre de conception de l'OIC en phase de collaboration (Al Khatib et al., 2014). Ce cadre permet de définir les modèles constitutifs de l'OIC dans un contexte particulier de convergence produit-usage. Nous pourrions mener le même type d'analyse pour définir les éléments constitutifs des OIC dans notre contexte de conception.

6. Synthèse

Notre deuxième proposition de modèle de processus de conception a été appliqué à plusieurs projets qui impliquaient des contraintes et des conditions d'exécution assez différentes : formation à distance, technologie imposée, reconception... Le premier constat que nous pouvons faire est que le processus de conception proposé n'a pas été appliqué de la même manière pour chacun des projets. Cela est un signe de sa bonne adaptabilité confirmée par l'étude de la différence entre le prescrit et le réel.

Cependant, l'ensemble de ces cas d'application nous a permis de mettre en évidence de nouveaux points pour l'amélioration et l'évolution de notre proposition de modèle.

Il y a un manque de ressources humaines (expertes), au sein de l'entreprise pilote, pour travailler sur ce type de projet. En effet, même si notre méthode de recherche qui impliquait la

nécessité d'une immersion dans les équipes en tant qu'acteur du projet, il nous a fallu tenir plusieurs rôles à la fois. De plus, il est nécessaire de trouver les bons outils et les bonnes méthodes pour faire participer les futurs utilisateurs (non-experts) comme nous l'avons observé dans l'étude concernant l'impact des OIC sur la génération des scénarios. Cela impose d'avoir un processus qui puisse être opérationnel : adapté aux conditions d'exécution de l'entreprise pilote et accessible à tous afin de permettre à chacun de le mettre en œuvre avec ses compétences. Lors de nos échanges avec les équipes projets sur le modèle de processus de conception, nous avons constaté que le processus au format IDEF0 restait difficilement compréhensible car il ne renseigne pas directement « comment réaliser la tâche ». Il conviendrait de le simplifier et de l'outiller pour rendre le processus plus accessible en proposant des ressources pour guider le pilote projet et les équipes associées (concepteurs et utilisateurs).

Il nous semble également nécessaire de faire apparaître plus spécifiquement la notion d'utilité dans notre processus de conception. Comme l'a montré Loup-Escande (Loup-Escande *et al.*, 2011) c'est un facteur de réussite pour s'assurer de l'adoption complète par les formateurs et apprenants. D'autres éléments pourraient apparaître comme des tâches spécifiques à la gestion des projets de l'entreprise pilote. Par exemple pour chaque projet nous avons dû définir un budget et valider le projet en comité de pilotage pour autoriser son lancement. Cela peut également concerner de solliciter la partie RH car nous avons pu constater qu'il est nécessaire de les impliquer pour définir les besoins en termes de gestion de la formation. Enfin, à la suite de nos retours d'expériences sur les projets menés, nous pouvons ajouter des tâches comme la définition des risques (à partir d'éléments capitalisés) et la définition de la typologie du projet pour pouvoir réaliser la planification.

Lors du projet de « chasse au risques » (cf. chapitre 4. Application n° 2 du modèle : Chasse aux risques p.106), nous avons étudié l'utilisation d'OICs différents pour la génération des scénarios (Bisson *et al.*, 2023). L'étude préliminaire a révélé l'impact que leur usage peut avoir sur la manière de co-concevoir les scénarios et le résultat final. L'OIC aide les personnes qui ne sont pas expertes des TI à comprendre comment l'application fonctionnera et à faire des choix de conception. Dans notre cas, l'utilisation d'un OIC approprié nous semble être un facteur de réussite pour les futurs projets, afin de contrecarrer cette limitation. L'OIC a ainsi motivé les personnes à travailler ensemble avec leurs propres ressources et à sentir que la solution finale correspond aux choix de décision qu'ils ont faits. L'utilisation d'un OIC sous forme de maquette fonctionnelle pour le projet de reconception de la formation ratière (cf. chapitre 5. Application n°3 du modèle de conception : Ratière V2 p.120) va également dans ce sens. Même si nous n'avons pas pu étudier son apport via un protocole expérimentale, notre position privilégiée dans le projet nous a permis de constater une amélioration de la collaboration entre les différents acteurs. Ainsi, la maquette a permis à l'expert domaine d'avoir un support pour illustrer ses propos et au concepteur XR d'avoir un visuel pour mieux le comprendre.

Vis-à-vis de ce bilan, nous formulons les préconisations suivantes vis-à-vis de notre modèle et de la manière de le mettre en œuvre :

Préconisation 1 : Il est encore nécessaire de modifier notre modèle pour adapter les étapes à réaliser en fonction des axes d'amélioration mis en évidence. Cela revient entre autres à modifier le processus pour le centrer sur l'utilité, l'adapter au mode de gestion des projets de l'entreprise pilote, solliciter le service RH ainsi que prendre en compte les retours d'expérience des anciens projets pour piloter le projet.

Préconisation 2 : Il est également nécessaire de travailler sur différentes manières de faciliter le travail des membres « non-experts » de ce type de projet. Pour pallier le manque de ressources humaines « expertes », nous pouvons fournir par exemple des supports de travail adaptés. Mais plus globalement, notre modèle de conception ayant vocation à être opérationnel au niveau de Stäubli, nous devons anticiper un moyen qui permette une bonne appropriation du modèle de conception aux différentes équipes.

Chapitre VI. : Proposition d'un processus de conception opérationnel

*Ce chapitre a fait l'objet d'une **communication dans le cadre d'une conférence nationale** : BISSON I., MAHDJOUR M., ZARE M., GOUTAUDIER F., RAVIER F., SAGOT J.C. (2022) « PROPOSITION D'UN PROCESSUS DE CONCEPTION COLLABORATIVE DE FORMATION PROFESSIONNELLE IMMERSIVE : BILAN D'UNE EXPERIENCE INDUSTRIELLE DE TROIS ANNEES ». 30ème Colloque des Sciences de la Conception et de l'Innovation, Confere, 6-7 Juillet, Gêne, Italie, 10 p.*

Chapitre VI : Proposition d'un processus de conception opérationnel de FPI

1. Objectif et contribution	134
2. Un processus opérationnel pour Stäubli	134
3. Un processus applicable et outillé	137
4. Evaluation préliminaire de la roadmap proposée	139
a. Participants	140
b. Matériel	140
c. Procédure	141
d. Analyse des données	141
i. Evaluation de l'utilité	142
ii. Evaluation de l'utilisabilité	143
iii. Evaluation de l'acceptabilité	144
5. Conclusion et perspectives de la roadmap	145

1. Objectif et contribution

Sur la base des expérimentations précédentes et des résultats associés, l'objectif de ce chapitre consiste à proposer une démarche de conception opérationnelle qui soit utilisable par l'entreprise pilote Stäubli. Cela permettra de compléter notre dernière contribution :

C4 : Proposition d'une démarche de conception validée et applicable par l'entreprise Stäubli.

Pour cela, nous proposerons une nouvelle itération de notre modèle de conception de FPI afin d'intégrer nos précédents résultats et de répondre aux dernières préconisations formulées à la fin du chapitre Chapitre V : Série d'expérimentations : Proposition d'un deuxième modèle de conception de FPI à la section 0. p.130. Ensuite nous proposerons la transformation de cette dernière itération de notre modèle en une roadmap destinée à l'entreprise pilote. Enfin, nous testerons cette roadmap pour répondre à l'hypothèse suivante :

H3 : La roadmap proposée avec le formalisme adapté permettra à des non-experts de l'entreprise de mener de nouveaux projets en autonomie.

2. Un processus opérationnel pour Stäubli

En premier lieu nous avons fait en sorte que le processus soit plus **opérationnel**, c'est-à-dire qu'il représente davantage la manière de travailler de l'entreprise pilote. Des étapes ont été ajoutées comme la définition d'un budget et la validation du lancement du projet lors de la première étape du projet. Ces tâches représentent des passages « obligatoires » vis-à-vis de l'organisation des projets de l'entreprise. Elles représentent également des étapes clés pour le montage d'un projet

et pour valider son lancement. Pour chaque étape nous avons également proposé des outils pour réaliser la tâche.

Les modifications de l'étape « **A1 : Définir le besoin** » (Figure 50 - A1 «) concernent :

- « **A12 Collect expressed need of the training management** » : nous avons pris la décision d'ajouter cette étape afin d'inclure le service RH Formation de l'entreprise. Ce service souhaite davantage être tenu informé des formations et également en faire le suivi. Cette initiative découle des leçons tirées de nos projets antérieurs, où l'absence d'un plan de formation bien défini s'ajoutait au déficit d'informations transmises au service RH Formation, englobant à la fois le contenu et le déroulement des formations. Ainsi lors d'un nouveau projet, nous espérons mettre en place une communication fluide et un partage d'informations essentielles, telles que la capitalisation des formations existantes et la notification en temps opportun des nouveaux programmes de formation. De plus, cette étape est cruciale pour anticiper les besoins et les contraintes du service RH Formation en matière de gestion de la formation, en particulier lorsque de nouveaux contenus de formation sont en cours de développement.
- « **A14 Define need and usefulness** » : nous avons pu observer que l'utilité perçue de l'application est un facteur important pour la mise en production de la solution. Une bonne utilité va grandement participer à l'adoption de la technologie par les utilisateurs.
- « **A15 Define project constraints and risks** » : grâce aux retours d'expérience des précédents projets, il a été possible de capitaliser une liste de risques sur le bon déroulement du projet. Notre roadmap étant destinée à être utilisée par des non-initiés, cela va permettre de mettre en garde le pilote projet sur ces risques.
- « **A17 Define project type and plan** » : afin de rendre adaptable le processus en fonction de la typologie du projet, l'objectif de cette étape est de définir le type de projet et de pouvoir le planifier. Les facteurs qui peuvent influencer le projet incluent la nature du projet (conception ou reconception), la présence ou l'absence d'un plan de formation, ainsi que l'imposition ou non d'une technologie. Les ressources à disposition pour cette étape seront des recommandations suivant les retours d'expériences de nos projets.
- « **A19 Define Budget** » : nous avons également ajouté une étape pour budgétiser le projet. Il s'agira de proposer une enveloppe budgétaire afin d'acheter du matériel (si besoin) et financer les sous-traitants s'il faut développer une application.
- « **A20 COPIL** » le COmité de PILotage est un passage obligatoire afin de faire valider le déroulement du projet, le budget et les ressources associés.

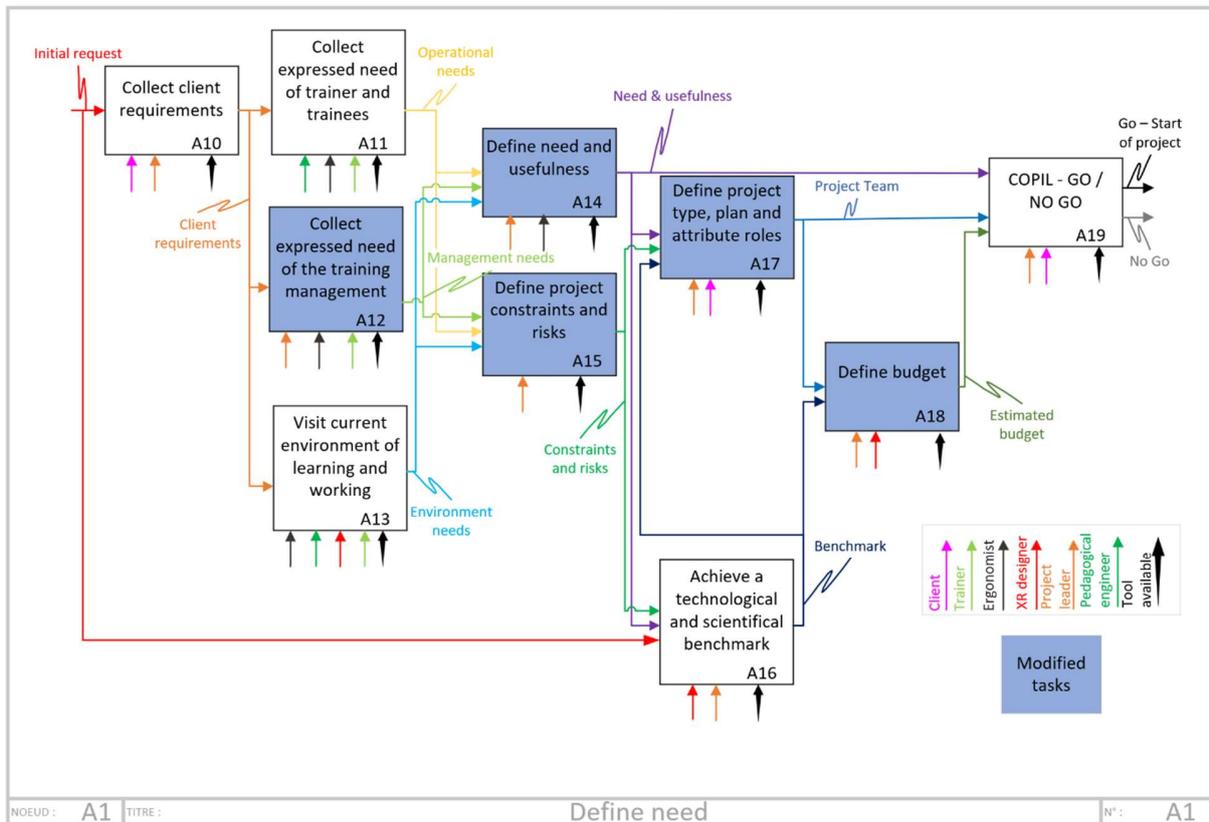


Figure 50 - A1 « Définir le besoin »

Des modifications ont également été apportées à A2 « Réaliser la conception préliminaire » (Figure 51) :

- « **A21 Work analysis** » : nous avons décidé d'intégrer les étapes initiales de A21 dans A2 pour simplifier la lecture et la compréhension en les laissant au même niveau. Les sous-tâches seront intégrées dans les ressources à disposition. Par exemple pour la tâche A21 Works analysis, dans le document il sera indiqué qu'il conviendra de réaliser des vidéos d'observations (A211), récupérer des traces des formateurs et formés (A212), récupérer les documents de formations (A213) et réaliser des entretiens avec les formateurs et formés (A214).
- « **A22 Converge IT and problematic sequences** » : cette tâche sera effectuée indépendamment de « A21 Work analysis ».
- « **A23 Co-design with users** » : cette étape est similaire à « A217 Converge with trainer ». Nous l'avons renommé pour insister sur l'aspect de co-création avec les futurs utilisateurs.

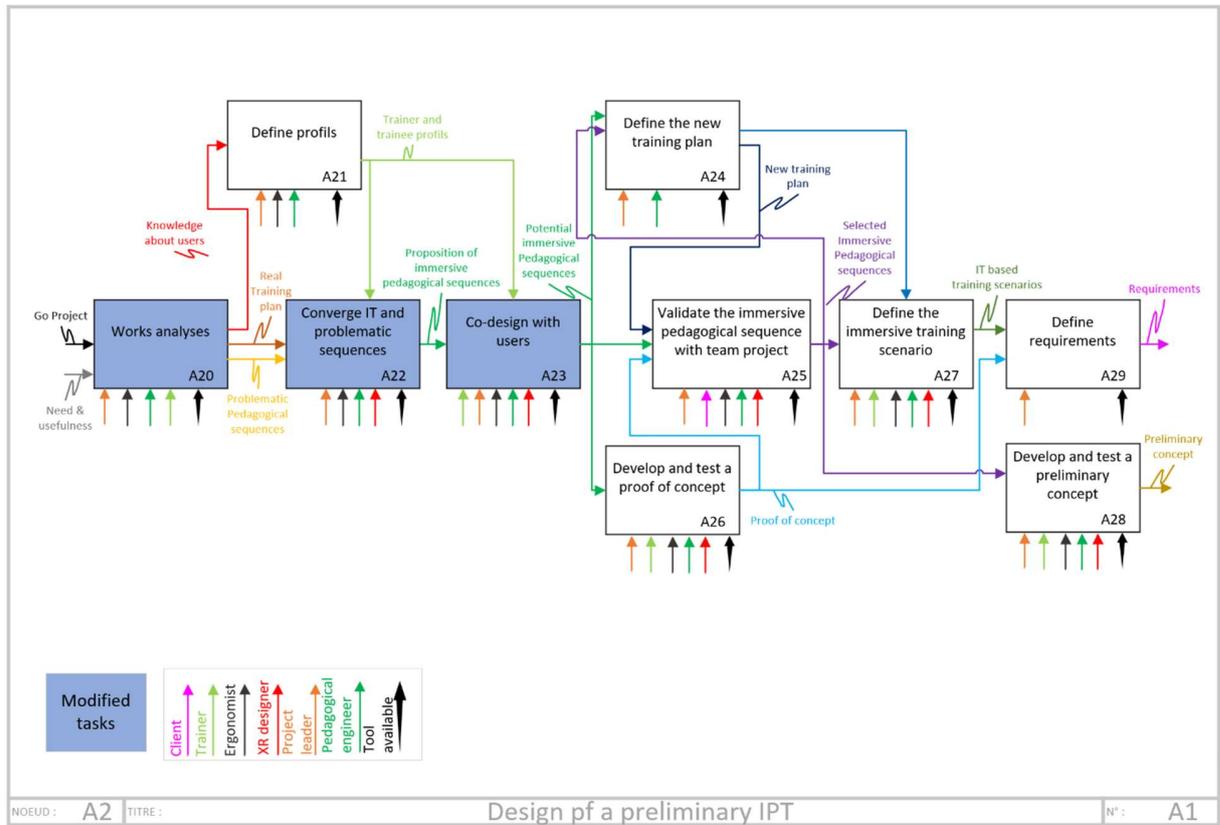


Figure 51 – A2 “Réaliser la conception préliminaire”

Une fois que toutes les étapes ont été définies, nous avons donc transformé ce modèle de processus en une roadmap. Cette transformation est présentée dans la section suivante.

3. Un processus applicable et outillé

Afin de répondre aux dernières préconisations formulées à la fin du Chapitre V : Série d'expérimentations : Proposition d'un deuxième modèle de conception de FPI à la section Synthèse p.130, nous proposons d'accompagner notre dernière version du processus de conception avec une roadmap. La roadmap est une feuille de route qui va indiquer et renseigner les principales étapes du projet. Les objectifs de cette roadmap sont :

- Simplifier la prise en main de notre modèle de processus de conception.
- Faciliter la collaboration entre les différents acteurs impliqués dans le projet. Chaque membre de l'équipe pourra mieux prendre connaissance de son rôle et des actions qu'il a à jouer dans le processus
- Fixer les différentes étapes du projet via une proposition d'ordonnancement générique.
- Connaître les jalons du projet et les livrables pour la bonne réalisation des projets

Plusieurs étapes ont été nécessaires pour transformer notre processus IDEF0 en roadmap (cf. Figure 52). Nous avons tout d'abord traduit notre IDEF0 sous la forme d'un diagramme de GANTT. Cela nous a permis de mettre en place un ordonnancement des tâches et une durée générique.

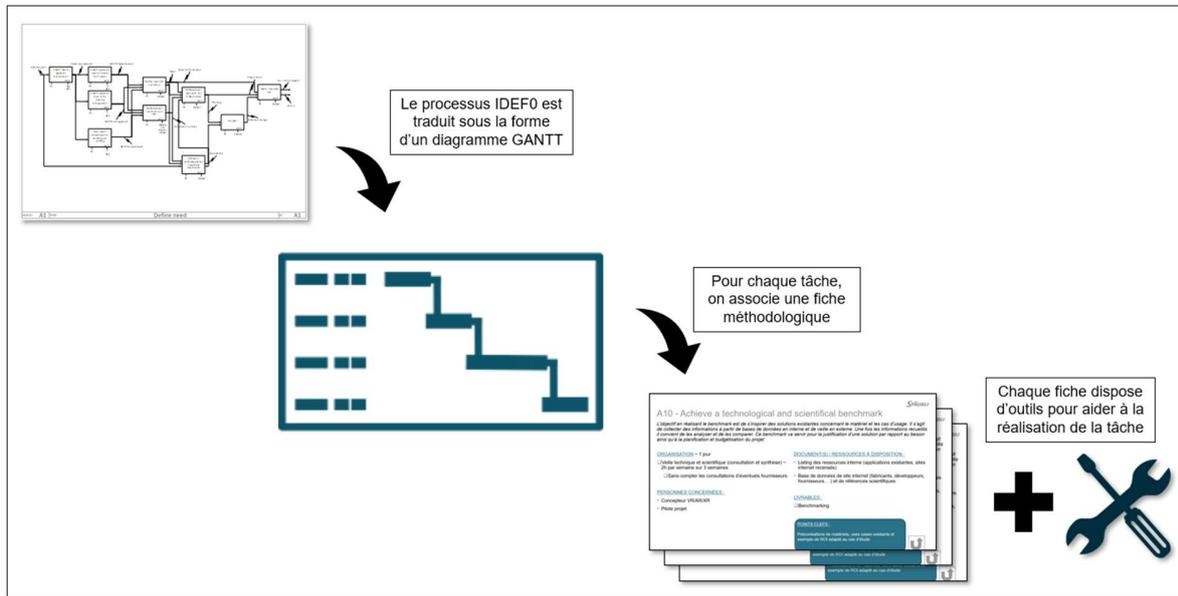


Figure 52 - Evolution du processus de conception en roadmap

Ensuite, pour chaque tâche, nous avons associé une fiche méthodologique (Figure 53) dans laquelle nous retrouvons les informations comme :

- L'objectif
- Les acteurs impliqués
- Les actions à mener et temps associés pour la réalisation
- Les documents et ressources à disposition
- Le livrable attendu



A23 - Co-design with users

Sur la base des solutions potentielles, il faut désormais travailler en collaboration avec les futurs utilisateurs pour retenir une solution. Une fois la solution retenue, il s'agit d'en réaliser un descriptif global qui permet d'envisager la manière de réaliser la formation à l'aide des moyens immersifs d'un point de vue technique et organisationnelle.

<p><u>ORGANISATION</u> ~ 5 jours</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Préparation des réunions de travail ~ 2 jours<input type="checkbox"/> Réunion de travail ~ 1 journée (en deux fois)<input type="checkbox"/> Synthèse des réunions ~ 2 jours <p><u>PERSONNES CONCERNÉES :</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Pilote projet• Futurs utilisateurs• Concepteur VR/AR• Ingénieur pédagogique• Ergonome	<p><u>DOCUMENT(S) / RESSOURCES À DISPOSITION :</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Potentielles séquences pédagogiques immersives (A22)• Canevas de présentation• Exemple de supports pour faciliter la communication <p><u>LIVRABLES :</u></p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Choix de la séquence pédagogique immersive potentielle <div style="background-color: #00728f; color: white; padding: 5px; border-radius: 10px; margin-top: 10px;"><p><u>POINTS CLEFS :</u></p><ul style="list-style-type: none">- Valider les objectifs pédagogiques à traiter avec les utilisateurs- Penser à un scénario d'usage pour illustrer la solution</div> <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"></div>
--	---

23 TITLE

Figure 53 - Fiche méthodologique de la tâche A23 "Co-design with users"

Chaque fiche est équipée d'outils de support conçus pour faciliter la réalisation de la tâche (Annexe 7). Ils sont tirés des outils utilisés lors des projets précédents et qui ont été jugés pertinents. Nous retrouvons des guides d'entretiens, des check-lists, des canevas à remplir ou des OICs à utiliser.

Cette approche vise à rendre le processus de conception moins abstrait et plus accessible pour les équipes de l'entreprise pilote. L'élaboration d'une roadmap équipée d'outils s'avère également précieuse pour guider les membres des projets, même en l'absence de compétences spécifiques requises. En d'autres termes, dans les situations où des ressources spécialisées en ingénierie pédagogique par exemple ne sont pas disponibles, il est envisageable de désigner une personne pour exécuter les actions nécessaires, en s'appuyant sur la roadmap et les fiches méthodologiques comme des guides d'instruction.

4. Evaluation préliminaire de la roadmap proposée

Cette section propose de réaliser une évaluation préliminaire de notre roadmap via l'hypothèse suivante :

La roadmap proposée avec le formalisme adapté permettra à des non-experts de l'entreprise de mener de nouveaux projets en autonomie

Nous avons soumis notre roadmap à une évaluation par **un panel d'employés de l'entreprise pilote, en simulant son utilisation dans trois scénarios d'application potentiels**. Cette évaluation s'est déroulée suivant une **méthode qualitative impliquant des entretiens semi-directifs**. Cette approche a été privilégiée pour recueillir les impressions et les réactions des utilisateurs potentiels en ce qui concerne la projection de l'utilisation de la roadmap dans divers contextes de conception d'applications de formation en environnement immersif.

a. Participants

Pour notre étude, nous avons sollicité quatre personnes provenant de différents services impliqués dans la formation au sein de l'entreprise pilote :

- 1 personne du service « **RH et formation** » : propose des formations appropriées aux employés
- 1 personne du service « **Formation division raccords** » : propose des formations aux clients de la division Raccord
- 1 personne du service « **Après-vente division textile** » : propose des formations aux techniciens du service-après-vente de la division textile
- 1 personne du service « **Formation division robot** » : propose des formations aux clients de la division robot

b. Matériel

Pour cette étude, le matériel qui a été mis à disposition des participants sont la roadmap accompagnée des fiches méthodologiques ainsi que des scénarios. Les scénarios sont des demandes potentielles de projet formulés par un client. Nous retrouvons les éléments que nous pouvons avoir dans un projet comme la demande, les ressources à disposition, le délai... Ces scénarios ont été élaborés en nous inspirant des projets qui ont déjà été réalisés et en les anonymisant (cf. annexe 8). Pour finir, un guide d'entretien a été élaboré pour évaluer la roadmap auprès des participants (cf. annexe 9). Le guide d'entretien a été construit à partir des questions tirées de (Benne, 2013; Renaud, 2020). Les items retenus ont pour objectif d'évaluer l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité de la roadmap :

- Utilité
 - Efficacité projetée
 - Utilité-destination
 - Utilité-valeur
- Utilisabilité
 - Clarté
 - Facilité à utiliser
 - Charge de travail
 - Flexibilité
 - Ajustabilité
 - Facilité à déployer
 - Capabilité
- Acceptabilité
 - Compatibilité
 - Intention d'utiliser

- Intention de faire utiliser par quelqu'un
- Adaptabilité à un projet de formation non-immersif
- Autre
 - Appréciation générale

Chaque critère a été évalué sur une échelle à 5 niveaux allant de « pas du tout d'accord » à « tout à fait d'accord ». Ce positionnement a été complété par un échange sur chaque critère pour en tirer des éléments complémentaires qualitatifs.

c. Procédure

La procédure comporte trois temps (cf. Figure 54).

La roadmap ainsi que les fiches méthodologiques ont été envoyées aux participants dans un premier temps pour qu'ils puissent prendre connaissance de son contenu et de son fonctionnement.

Dans un second temps, les trois scénarios ont été envoyés.

Enfin, une semaine après avoir envoyé la roadmap, nous avons organisé des entretiens individuels pour questionner les participants sur leurs ressentis par rapport à la roadmap.

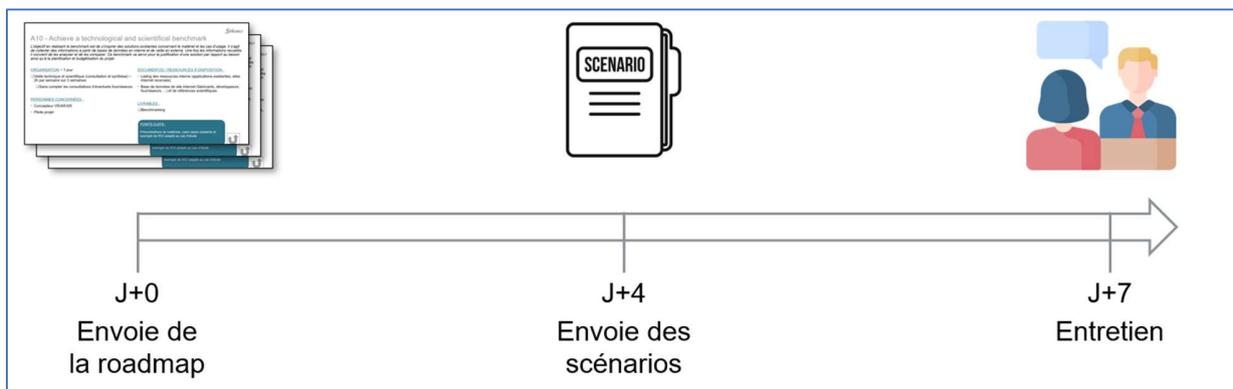


Figure 54 - Procédure de l'évaluation de la roadmap

d. Analyse des données

Dans cette partie nous allons étudier les résultats de l'entretien sur l'évaluation de la roadmap. Nous rappelons que la roadmap, ainsi que les fiches méthodologiques, ont été envoyées aux participants une semaine avant l'entretien et que trois jours auparavant ils ont également reçu des scénarios pour les mettre dans un contexte de nouveaux projets.

D'après les données recueillies sur le panel (Tableau 7), les quatre participants ont entre 29 et 59 ans et entre 2 et 25 ans d'expérience dans l'entreprise. Toutes les personnes sont issues d'un service en lien avec la formation. Globalement, toutes les personnes ont passé plus de temps sur

la lecture de la roadmap et moins sur la lecture des fiches méthodologiques. Ils ont cherché à comprendre le fonctionnement, sa construction et le déroulement des tâches.

Sujet	Age (année)	Ancienneté (année)	Compétences	Lecture de la RM
1	59	8	Formation raccords	"J'ai survolé les fiches et j'ai passé plus de temps sur la roadmap"
2	39	2	Formation robots	"Je me suis surtout penché sur la roadmap et un peu sur les fiches"
3	53	25	Formation textile	"J'ai surtout regardé la construction de la roadmap et des fiches"
4	29	2	Formation RH	"J'ai bien lu la roadmap et survolé les documents"

Tableau 7 - Information sur les participants lors de l'évaluation de la roadmap

Nous avons demandé aux participants de donner une note globale sur 20 à notre roadmap. Il s'agit d'évaluer l'appréciation générale comprenant tous les critères confondus. La moyenne accordée est de 16/20 ce qui montre que la roadmap est appréciée de manière générale par les participants.

i. Evaluation de l'utilité

Nous avons évalué l'utilité perçue de la roadmap (Tableau 8) grâce aux trois thèmes suivants :

- **Efficacité projetée** : efficacité de la roadmap projetée par rapport au scénario
- **Utilité destination** : utilité de la roadmap pour conduire un projet
- **Utilité valeur** : utilité de la roadmap pour avoir une solution pertinente

Concernant **l'efficacité projetée** les participants devaient dire si selon eux la roadmap contribuerait à atteindre les objectifs décrits par les scénarios. D'après le Tableau 8, nous pouvons voir que la moyenne du critère est de 4,12/5 ce qui signifie que selon eux la roadmap est efficace pour réaliser des projets de conception de formation professionnelle immersive.

Concernant **l'utilité destination**, c'est-à-dire l'utilité perçue des fonctionnalités de la roadmap (ordonnancer les tâches, allouer les ressources, guider dans les tâches à réaliser), la moyenne est de 4,5/5 (Tableau 8). Cette évaluation suggère que la roadmap devrait être un outil efficace pour soutenir la gestion de projet de manière significative.

Pour finir, en ce qui concerne la **valeur d'utilité**, c'est-à-dire la pertinence de la solution pour atteindre les objectifs, nous avons sollicité l'avis des participants pour savoir si la roadmap leur permettrait de concevoir des applications de formation immersive utiles. La moyenne des réponses s'élève à 4,4 sur 5. Ce résultat indique que, selon leur avis, la roadmap facilitera la conception de solutions pertinentes et utiles pour les utilisateurs en matière d'applications de formation immersive.

Items	Sous-items	Questions	Moyennes note sur 5
Utilité	Efficacité projetée	Pensez-vous que la roadmap contribue à atteindre les objectifs fixés par les scénarios ?	4,13
	Utilité-destination	Pensez-vous que la roadmap est utile pour concevoir des formations immersives ? (ordonnancer les tâches, planifier les tâches, allouer des ressources, guider dans les tâches à réaliser)	4,5
	Utilité-valeur	Pensez-vous que la roadmap va permettre de concevoir des formations immersives utile/pertinent pour les formateurs et apprenants ?	4,38

Tableau 8 – Notes moyennes pour chacun des questions posées sur l'utilité de la roadmap

ii. *Evaluation de l'utilisabilité*

Nous avons analysé l'utilisabilité de notre roadmap (Tableau 9) grâce aux critères suivants :

- Facilité à comprendre
- Facilité à utiliser
- Charge de travail
- Flexibilité
- Ajustabilité
- Facilité à déployer
- Capabilité

Nous avons interrogé les membres du panel pour évaluer la **facilité de compréhension** de la roadmap. Nous avons attribué une note de 0 en cas de compréhension rapide et une note de 5 en cas de compréhension longue. La moyenne des notes s'élève à 2,6/5, indiquant que la plupart des participants ont trouvé que la roadmap demandait un certain temps pour être appréhendée dans son ensemble. Les membres du panel expliquent cela par le niveau de détail de la roadmap. Cependant ce résultat va dans le sens des attentes des personnes sondées comme l'a noté un des participants « il est essentiel de comprendre intégralement le processus avant de s'engager dans un projet ».

En ce qui concerne la **facilité d'utilisation**, la moyenne est de 4,5, ce qui démontre que la roadmap donne satisfaction sur ce point. En effet, les participants ont constaté que la navigation et l'accès aux outils étaient facilités grâce au format PowerPoint et à la présence de liens interconnectant les diapositives et les ressources.

Les participants ont également trouvé que la roadmap leur permet de diminuer **leur charge de travail** (moyenne de 4,5) pour conduire un projet ce qui est positif car l'effet recherché est de les aider et non pas de leur complexifier le travail.

Ensuite, nous avons posé des questions plus axées sur les scénarios. Par exemple pour évaluer **la flexibilité**, nous leurs avons demandé si la roadmap permettait de s'adapter à la nature des projets (avec ou sans plan de formation, conception ou reconception...). Nous avons obtenu une moyenne de 4,3 ce qui laisse envisager une bonne flexibilité de notre proposition.

Nous avons également demandé si la roadmap permettrait de **s'adapter à l'équipe projet** (si elle est réduite ou complète, ou s'il manque des compétences). La moyenne obtenue est de 4/5 ce qui est positif. Selon les membres du panel, les rôles peuvent être attribués même s'il manque des ressources et les fiches méthodologiques permettent de conduire les tâches. De plus les

points clefs fournis sur le PowerPoint mettent en évidence ce qui est important à faire ressortir pendant la tâche à réaliser.

Nous leur avons posé la question de savoir si la roadmap serait **facile à mettre en place au sein de leurs services**, et s'ils se sentiraient compétents pour l'utiliser dans la gestion de projets. La note moyenne obtenue est de 4, ce qui renforce notre confiance en la faisabilité du déploiement futur de notre roadmap

Pour finir, les participants se sentent **capables** d'utiliser la roadmap pour conduire un projet car la moyenne est de 4/5. Bien que plusieurs compétences ne soient pas maîtrisées, l'accompagnement avec les fiches méthodologiques permet de les guider. Cependant, une observation importante a émergé : les participants expriment le désir d'obtenir davantage de retours d'expérience inclus dans les fiches, illustrant par des exemples la nature des tâches à accomplir. Ces retours d'expérience pourraient se fonder sur des projets antérieurement menés.

Items	Sous-items	Questions	Moyennes
Utilisabilité projeté	Clarté	Comment évaluez vous le temps pris pour comprendre la roadmap ?	2,75
	Facilité à utiliser	Pensez-vous que la roadmap est facile à utiliser ? Naviguer dans la roadmap ou mettre en œuvre les outils?	4,5
	Charge de travail	Pensez-vous que la roadmap diminue votre charge de travail (pour gérer un tel projet) ?	4,5
	Flexibilité	Selon vous, est-ce que la roadmap s'adapte bien à la nature des projets demandés dans les scénarios ?	4,25
	Ajustabilité	Selon vous, est-ce que la roadmap peut s'ajuster à l'équipe projet constituée ? (réduite ou complète, et des compétences de l'équipe)	4
	Facilité à déployer	Selon vous, est-ce que la roadmap serait facile à déployer dans votre service ? (avec conditions réunies)	4
	Capabilité	Vous sentiriez-vous capable de réaliser les projets ? (sentiment de se sentir capable de l'utiliser)	4

Tableau 9 - Notes moyennes pour chacune des questions posées sur l'utilisabilité de la roadmap

iii. Evaluation de l'acceptabilité

Pour finir, nous avons analysé l'**acceptabilité** de la roadmap (Tableau 10). Les items qui ont été évalués sont :

- La compatibilité
- L'intention d'utiliser
- L'intention de faire utiliser
- Adapté à un projet non immersif

Dans un premier temps, nous avons sollicité les participants pour évaluer la **compatibilité** de la roadmap avec le mode de fonctionnement de l'entreprise pilote. Cela inclut la conformité des processus et des étapes de la roadmap avec la stratégie de l'entreprise, ainsi que la manière dont ils gèrent leurs projets. En moyenne, les participants ont attribué une note de 3,7/5 à cet aspect. Cependant, en comparaison avec les projets « e-learning », la gestion de projet semblait être perçue comme plus complexe, exigeante en termes de ressources, et chronophage. Certains

délais alloués, comme les 10 jours requis pour « l'analyse des travaux », ont été jugés relativement longs. Cette perception peut être expliquée par notre prise en compte de la non-expertise des concepteurs pour l'exécution de certaines tâches. Néanmoins, un participant a souligné qu'en ce qui concerne la gestion du temps, cela pouvait être envisageable, étant donné que l'entreprise pilote pouvait y consacrer d'importantes ressources. Il a également noté que d'autres entreprises pourraient ne pas être en mesure d'allouer des ressources aussi abondantes. Il faut bien évaluer le ROI avant de se lancer dans un tel projet et expliquer aux décideurs pourquoi la gestion de ce genre de projet nécessite plus de ressource que l'élaboration d'un e-learning. De plus, pour gérer ce genre de projet il faut beaucoup de compétences humaines et de management pour accompagner l'équipe et les utilisateurs face au changement de dispositif.

Nous avons demandé aux participants s'ils avaient **l'intention d'utiliser la roadmap dans leurs propres projets**. Tous les participants ont attribué une note de 4/5 à cet aspect, indiquant ainsi leur disposition à y recourir pour leurs projets futurs. En outre, nous leur avons posé la question de savoir s'ils prévoyaient de **recommander l'utilisation de la roadmap à d'autres collègues**. La moyenne des réponses était plus élevée, avec une note de 4,5/5. Deux participants ont même attribué la note maximale de 5, soulignant ainsi que la roadmap pourrait être un outil particulièrement précieux pour guider des collègues qui ne sont pas des experts dans le domaine.

En conclusion, nous avons également exploré la perception de l'adaptabilité de la roadmap à des projets qui ne sont pas centrés sur les technologies immersives, c'est-à-dire si elle pouvait être utilisée dans la gestion de projets de formation ne faisant pas nécessairement appel à ces technologies. La moyenne attribuée à cette question s'élève à 3,5/5. Selon les participants, bien que les grandes étapes de la roadmap soient généralement conformes à leur approche de conception de formation, des ajustements seraient nécessaires au niveau des tâches spécifiques à réaliser. Cependant, ils considèrent que la roadmap pourrait tout de même servir de guide dans le contexte de ces projets.

Items	Sous-items	Questions	Moyennes
Acceptabilité	Compatibilité	Selon vous, est-ce que la roadmap est compatible avec le fonctionnement de l'entreprise ? (stratégie ou manière de piloter un projet)	3,63
	Intention d'utiliser	Selon vous, avez-vous l'intention d'utiliser de la roadmap pour un futur projet ?	4
	Intention de faire utiliser par quelqu'un	Selon vous, conseillerez vous à quelqu'un de votre équipe d'utiliser la roadmap pour piloter un futur projet ?	4,5
	Adapté à un projet de formation non immersif	Selon vous, cet outil est adapté à des projets de conception de formation non immersif ?	3,5

Tableau 10 - Notes moyennes pour chacune des questions posées sur l'acceptabilité de la roadmap

5. Conclusion et perspectives de la roadmap

L'objectif de ce chapitre était de rendre notre modèle de processus de conception opérationnel, applicable et outillé pour les équipes de l'entreprise Stäubli qui seront confrontées dans le futur à des projets de conception de formations immersives.

Pour cela, nous avons encore fait évoluer notre modèle (i) au niveau des étapes à réaliser vis-à-vis de leur pertinence avec les processus de travail de l'entreprise pilote et (ii) principalement sur sa forme. Nous avons donc proposé un nouveau modèle IDEF0 que nous avons mis sous la forme d'une roadmap.

L'analyse de la roadmap a été réalisée dans le contexte de son utilisation projetée par les équipes de l'entreprise pilote Stäubli. Les données ont été examinées sous trois principaux angles : l'évaluation de l'utilité, l'évaluation de l'utilisabilité, et l'évaluation de l'acceptabilité de la roadmap.

L'évaluation de l'utilité a permis de constater que la roadmap a été généralement bien perçue par les participants. L'efficacité projetée, l'utilité destination, et l'utilité valeur ont été les critères clés analysés. Les participants ont attribué des notes élevées à ces critères, indiquant ainsi que la roadmap est considérée comme un outil efficace pour la gestion de projets de conception de formations immersives. Elle permet d'être guidé pour savoir ce qu'il faut réaliser, quelles étapes réaliser et comment. Elle permet également de voir le projet dans son ensemble pour attribuer les ressources.

L'évaluation de l'utilisabilité a mis en évidence que la roadmap est globalement bien acceptée en termes de facilité de compréhension, d'utilisation, et de charge de travail. Les participants ont noté que, bien que la compréhension complète de la roadmap puisse demander un certain temps en raison de son niveau de détail, cela correspondait à leurs attentes. De plus, la navigation au sein de la roadmap a été considérée comme aisée, notamment grâce au format PowerPoint et aux liens interconnectant les diapositives et les ressources.

En ce qui concerne l'acceptabilité, les participants ont exprimé leur intention d'utiliser la roadmap dans la gestion de nouveaux projets de conception de formation immersive. De plus, ils ont manifesté une intention favorable à la recommandation de la roadmap à d'autres collègues. Cependant, la compatibilité de la roadmap avec le fonctionnement de l'entreprise a été évaluée de manière mitigée, notamment en ce qui concerne les ressources nécessaires.

En conclusion, l'analyse des données révèle une appréciation positive de la roadmap. Les participants la perçoivent comme un outil potentiellement utile et facile à utiliser, bien qu'une attention particulière soit requise pour la compréhension complète en raison de son niveau de détail. Ainsi, notre expérimentation évaluant l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité projetée de la roadmap nous permet de mettre en évidence que la roadmap semble :

- Nécessaire à utiliser
- Facile à prendre en main et à mettre en œuvre
- Permettre de planifier un projet et d'allouer les ressources
- S'adapter aux projets, aux compétences et à la culture de l'entreprise

Ainsi, ces différents résultats et analyses permettent de confirmer de **façon préliminaire** notre hypothèse : « La roadmap proposée avec le formalisme adapté permettra à des non-experts de l'entreprise de mener de nouveaux projets en autonomie ».

Pour confirmer notre hypothèse de manière plus aboutie, des perspectives de recherche plus avancées s'imposent. Il serait bénéfique d'envisager une évaluation plus concrète en intégrant la roadmap dans des projets réels et en la faisant utiliser par des membres de l'entreprise pilote.

Cette démarche permettrait une validation approfondie de l'efficacité et de l'applicabilité de la roadmap dans des contextes de projets concrets.

Les entretiens réalisés avec le panel, bien que réduit en nombre, ont ouvert la voie à des suggestions d'améliorations et à des pistes pour de futures perspectives. Ces suggestions concernent principalement la contextualisation de la roadmap. Il serait avantageux d'inclure des informations telles que les prérequis, les avantages et les limites des technologies immersives, ainsi que les pièges à éviter. Pour les non-experts, cette contextualisation préalable est essentielle pour une meilleure compréhension du processus global avant de s'engager dans de tels projets.

Enfin, il est important de reconnaître que les non-experts peuvent avoir des expériences et des connaissances variées. Par conséquent, une clarification des termes et la création d'un lexique pourraient s'avérer bénéfiques. Par exemple, l'un des participants a exprimé sa confusion quant à la distinction entre les termes « mock-up », « prototype » et « proof of concept ». De plus, l'utilisation de termes en anglais peut s'avérer perturbante pour certains participants, ce qui souligne la nécessité d'une adaptation linguistique pour garantir une compréhension optimale.

Chapitre VII. Conclusion et perspectives

Chapitre VII : Conclusion et perspectives

1. Conclusion générale.....	149
a. La compréhension de la formation professionnelle au sein de Stäubli.....	150
b. Processus de conception collaborative de formation professionnelle immersive centrée sur l'utilisateur.....	150
c. L'analyse de phases de collaboration	152
d. Proposer un processus opérationnel, applicable et outillé pour Stäubli.....	152
2. Perspectives de recherche	153
a. Des perspectives liées au processus de conception de FPI.....	153
b. Des perspectives stratégiques au niveau de l'entreprise pilote	157
i. Définition des axes stratégiques.....	157
ii. Proposition de perspectives à horizon 2030	159

1. Conclusion générale

Dans le contexte de l'industrie 4.0 (Bauer *et al.*, 2018), les nouvelles technologies de production mettent en œuvre des moyens et des processus industriels en constante évolution. Vis-à-vis de ces évolutions, les industriels se doivent de penser aux moyens de formation physiques et virtuels les plus actuels et appropriés qui permettront à leurs employés de monter en compétences et de s'adapter ainsi à de nouveaux modes/moyens de production.

Pour répondre à ce besoin, plusieurs industriels ont choisi de profiter des TI telles que la RV et RA ou encore d'autres technologies de RM. L'un des freins à la bonne implantation de ces outils est le manque d'une bonne expérience utilisateur lors de l'usage de ces moyens (Akçayır and Akçayır, 2017; Arnaldi *et al.*, 2018; Pettey, 2018). Devant ces problèmes d'UX qui touchent les environnements virtuels (matériels et logiciels) (Burkhardt, 2003), il est souvent fait état d'un manque de démarche de CCU (Frejus *et al.*, 1997) ou à une non-prise en compte des démarches existantes. De plus, de nombreux métiers et experts mais aussi disciplines interviennent durant le processus de conception de ces applications et participent à leur manière à l'intégration des utilisateurs dans leurs activités de conception. Cependant, ces métiers et ces méthodes sont encore aujourd'hui trop cloisonnés et pas assez collaboratifs comme l'explique Richir *et al.* en 2015 (Richir *et al.*, 2015).

Nos travaux se sont donc spécifiquement positionnés dans le champ de la conception collaborative et centrée utilisateur de moyens de formation professionnelle utilisant les TI. Notre travail de recherche a été conduit dans l'entreprise pilote Stäubli : société industrielle internationale désireuse d'intégrer ces moyens immersifs pour former ses salariés.

Ainsi, nos travaux avaient pour objectif de répondre à la problématique suivante :

« Comment faire collaborer l'ensemble de ces acteurs métiers afin de concevoir pour et avec les futurs utilisateurs (apprenants et formateurs) des moyens de formations basés sur les TI de la manière la plus adaptée que possible aux contraintes industrielles. »

Pour répondre à cette problématique, notre démarche et nos objectifs de travail se sont articulés autour de quatre contributions.

a. La compréhension de la formation professionnelle au sein de Stäubli

Tout d'abord, nous avons cherché à avoir une meilleure compréhension des formations professionnelles au sein de notre entreprise pilote. Ainsi, notre première contribution est la suivante :

Contribution n°1 :

C1 : Au sein de l'entreprise Stäubli, analyse et compréhension, (i) des pratiques mises en place vis-à-vis des formations professionnelles et (ii) des opportunités et freins potentiels liés aux TI.

Grâce à une **première étude exploratoire** et aux résultats obtenus à l'aide d'entretiens semi-directifs avec différents services de l'entreprise pilote, nous avons pu mettre en évidence des besoins vis-à-vis des TI dans le cadre des formations.

Plus particulièrement, les entretiens ont mis en évidence des obstacles à l'intégration des TI pour former le personnel de l'entreprise Stäubli. Ces défis incluent un manque de compétences pour concevoir des formations, le besoin d'aide méthodologique, et l'inadéquation entre les besoins de l'entreprise et les solutions disponibles. **Les entretiens ont montré la nécessité d'un processus clair pour guider l'entreprise pilote à travers les différentes étapes de conception de formations utilisant les TI, impliquant la collaboration de divers experts.**

b. Processus de conception collaborative de formation professionnelle immersive centrée sur l'utilisateur

En accord avec l'entreprise pilote et confortés par les résultats de notre première étude exploratoire, nous avons investigué notre première hypothèse de recherche :

H1 : « Il est possible de formaliser une approche multidimensionnelle de conception collaborative de systèmes de formation professionnel immersifs centrée-utilisateur ».

Cela a permis d'obtenir notre Contribution n°2 :

C2 : Proposition et mise à l'épreuve d'une démarche permettant la conception collaborative de formation professionnelle immersive centrée sur les utilisateurs.

Pour cela, nous nous sommes appuyés sur des démarches existantes dans la littérature permettant d'intégrer plusieurs experts métiers comme l'ergonome, l'ingénieur pédagogique et le concepteur XR.

Nous avons ainsi proposé **un premier modèle de processus de conception de FPI formalisé avec le langage IDEF3** afin de fournir une technique structurée permettant d'exprimer sous forme

graphique le savoir d'un ou de plusieurs experts, d'une organisation ou d'une activité particulière. Cela nous a permis de modéliser la coordination, les phases de coopération et de collaboration entre les différents métiers impliqués.

Ce premier modèle a été testé lors d'un projet de formation au montage des ratières qui a fait l'objet de notre expérimentation initiale (Chapitre IV : p.55). Grâce aux résultats obtenus, nous avons pu mettre en évidence certains points pour l'amélioration et l'évolution de notre proposition. Nous avons formulé trois préconisations pour faire évoluer notre modèle de processus de conception et la manière de le mettre en œuvre :

- **Modifier notre modèle de processus de conception**
 - o Sur le fond à travers l'ajout et la modification de certaines étapes par exemple
 - o Sur la forme afin d'améliorer la compréhension de notre proposition
- **Aider dans la prise en main et l'application de notre modèle pour des non-experts**
- **Faciliter certaines phases de travail collaboratif**
 - o Notamment la phase de génération des scénarios (qui fait l'objet d'une contribution à part)

Sur la base de ces préconisations, **nous avons proposé un deuxième modèle de processus de conception de FPI. Le langage de modélisation IDEF3 a été remplacé par IDEF0** et le modèle a été modifié. Ce deuxième processus a été appliqué et testé dans une série d'expérimentations (Chapitre V : p.84). Pour cela, nous avons mené trois nouveaux projets avec des typologies différentes et des conditions d'exécution variées. Nous avons pu mettre en évidence l'adaptabilité de notre modèle aux différents cas rencontrés. Cependant nous avons également ciblé de nouveaux axes d'améliorations comme :

- **Continuer à faire évoluer le modèle pour l'adapter encore plus aux processus de l'entreprise pilote.** Il s'agissait notamment d'insister sur la notion d'utilité, de gestion des budgets et de validation des projets avant leur démarrage
- **Continuer nos efforts pour rendre notre modèle plus accessible** (qui fait l'objet d'une contribution à part) : en proposant des outils et des méthodes permettant (i) aux équipes de l'entreprise pilote de mener à bien ce type de projet et (ii) d'impliquer les non-experts des TI et notamment les futurs utilisateurs

Cela a permis de mettre au point notre troisième modèle de processus de conception de FPI cette fois opérationnel au sein de l'entreprise pilote (Chapitre VI : Proposition d'un processus de conception opérationnel de FPI

p.134)

c. L'analyse de phases de collaboration

Les nombreux projets réalisés afin de tester notre modèle de processus de conception ont mis en évidence des problématiques de collaboration sur certaines phases. Cela nous a amené à étudier notre deuxième hypothèse de recherche :

H2 : « Dans le cadre du modèle de conception qui sera proposé, il est possible de définir l'ensemble des phases de convergence et les moyens de les faciliter »

Nous avons traité cette hypothèse en mobilisant des approches d'analyse à base d'OIC afin d'aboutir à la contribution suivante de nos travaux :

Contribution n°3 :

C3 : Analyse des phases de collaboration et plus particulièrement des phases de convergence à l'aide d'OIC lors du processus de conception.

Nous avons traité spécifiquement de la phase de génération des scénarios pédagogiques lors du projet de conception de la formation sécurité (Application n° 2 du modèle : Chasse aux risques p.106). Nous avons mené **une étude préliminaire sur l'impact des OIC sur la collaboration lors des activités de création des scénarios**. Plusieurs OIC ont été proposés à l'équipe projet et une analyse qualitative couplée à une analyse quantitative des traces de collaboration semblent indiquer que l'utilisation adéquate d'OIC offre des avantages significatifs, notamment en ce qui concerne la qualité de la collaboration.

d. Proposer un processus opérationnel, applicable et outillé pour Stäubli

Nous avons finalement proposé une mise en forme opérationnelle, pour l'entreprise pilote, de notre troisième modèle de processus de conception. Cela représente la dernière contribution de nos travaux :

Contribution n°4 :

C4 : Proposition d'une démarche de conception validée et applicable par l'entreprise Stäubli.

Nous avons proposé une mise en œuvre opérationnelle de notre modèle de conception par l'intermédiaire d'une roadmap associée à des fiches méthodes et outils support.

Nous avons testé notre roadmap en proposant l'hypothèse suivante :

H3 : La roadmap proposée avec le formalisme adapté permettra à des non-experts de l'entreprise de mener de nouveaux projets en autonomie

La roadmap proposée est une feuille de route (au format PowerPoint) qui indique et renseigne les principales étapes du projet. Pour transformer notre processus en roadmap, nous l'avons traduit

sous la forme d'un GANTT pour mettre en place un ordonnancement des tâches et leur associer une durée. Chaque tâche est associée à une fiche méthodologique dans laquelle nous retrouvons :

- L'objectif
- Les acteurs impliqués
- Les actions à mener et le temps associé pour la réalisation
- Les documents et ressources à disposition
- Le livrable attendu

Chaque fiche a été équipée d'outils de support conçus pour faciliter la réalisation de la tâche. Ils sont tirés de notre expérience des projets précédents. Cette approche visait à rendre le processus de conception moins abstrait et plus accessible pour les équipes de l'entreprise pilote.

Notre roadmap a été évaluée, de manière préliminaire, auprès de quatre salariés de l'entreprise des services : RH et formation, Formation division raccords, Après-vente division textile et Formation division robots. Nous leur avons transmis la roadmap ainsi que les fiches méthodologiques pour une prise de connaissance de son contenu. L'évaluation a consisté à tester **l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité** de notre roadmap en projetant le personnel du panel dans son utilisation pour répondre à 3 scénarios d'usage représentant des besoins de formation. Les résultats préliminaires montrent une appréciation positive de la roadmap. Elle a été considérée par notre panel comme **nécessaire à utiliser, facile à prendre en main et à mettre en œuvre, utile pour planifier un projet et d'allouer les ressources et adaptée aux projets, aux compétences et à la culture de l'entreprise.**

2. Perspectives de recherche

Les contributions de nos travaux de recherche ont permis de répondre à notre problématique de recherche et de participer à la mise en place d'un modèle de processus de conception de FPI adapté et applicable au contexte de l'entreprise pilote. Ce faisant, nous avons tenté d'adapter notre proposition au plus proche à la réalité du terrain de l'entreprise pilote. Cependant, nos résultats comportent des limites qui peuvent être expliquées en partie par ce besoin d'opérationnaliser nos travaux. Ainsi nos terrains d'expérimentation n'étaient pas toujours les plus propices pour mener une démarche de recherche rigoureuse ou pour aller aussi loin dans nos investigations. De plus, l'échelle temporelle d'une thèse ne permet pas de voir tout de suite l'ensemble des résultats proposés mis en œuvre de manière complète à tous les niveaux de l'entreprise. Nos contributions ont eu un impact sur certains mais ils doivent encore être complétés. Ces limites amènent donc à proposer des perspectives à nos travaux. Nous avons décidé de les présenter selon deux axes (i) **celui lié au processus de conception de FPI** et (ii) celui plus stratégique lié aux **actions à mener au sein de l'entreprise pilote pour continuer à développer son appropriation des TI pour la formation.**

a. Des perspectives liées au processus de conception de FPI

Une première perspective consiste à compléter notre proposition de modèle de processus de conception.

En effet, nous avons focalisé notre contribution sur les étapes A1 « Définir le besoin » et A2 « Réaliser la conception préliminaire » car il s'agissait d'une priorité pour l'entreprise pilote afin

d'avoir la capacité de correctement définir ses besoins. Ainsi, il sera très pertinent d'étudier les étapes A3 « Réaliser la conception détaillée » et A4 « Utiliser et faire un retour d'expérience de la FPI ».

- Nous pourrions étudier comment améliorer l'intégration des étapes A3 et A4 pour une meilleure prise en compte des utilisateurs dans le processus de conception. Actuellement, ces étapes de conception sont souvent déléguées à des équipes informatiques externes à l'entreprise. À cet égard, les travaux de Richir (Richir and Fuchs, 2006) ont avancé l'idée de cahiers des charges fonctionnels. Cependant, une piste de recherche intéressante consisterait à enrichir ces cahiers des charges en y incorporant de manière plus efficace les scénarios pédagogiques générés au cours des phases précédentes, ainsi que les éléments de validation liés à l'expérience utilisateur et pédagogique. Il est à noter que lors du projet Ratière, nous avons constaté que cette transition n'était pas évidente. À partir du scénario, nous avons élaboré un document détaillant les interactions à intégrer, principalement dans le but d'établir un devis pour la solution. Cependant, ce processus ne permettait pas de capturer toutes les informations présentes dans le scénario, ce qui était essentiel pour le développement de l'application.
- Cela pose également plus globalement la question de la transition entre le scénario pédagogique et les premières versions de l'application (Abed *et al.*, 2016; Oubahssi *et al.*, 2018; Kemanji, 2020). Que ce soient des preuves de concept ou encore des prototypes, cette première transition est toujours compliquée car elle nécessite souvent du temps et des compétences en informatique. Dans un contexte de sous-traitance de la partie développement qui est un cas rencontré par l'entreprise pilote, cela peut être compliqué à intégrer au niveau financier par exemple.

La deuxième perspective de nos travaux concerne la validation de notre processus de conception.

Cela consistera à permettre une validation plus généralisée de notre proposition de modèle.

- **Cette généralisation pourra se faire au sein de l'entreprise pilote.** En effet, nous avons été confrontés à un manque de ressources internes ce qui nous a amené à tenir plusieurs rôles dans les projets. Il serait pertinent de tester notre modèle de processus de conception via une mise en œuvre exclusivement réalisée par des membres de l'entreprise pilote. Nous pourrions faire varier les conditions d'exécution de nouveau projet via par exemple la présence de certaines compétences métier recommandées par notre processus. Cela nous permettrait d'avoir une observation de ces activités plus extérieure qui serait complémentaire à la méthode de recherche mise en œuvre lors de nos travaux.
- **Cette généralisation pourra aussi se faire dans d'autres contextes industriels que celui de l'entreprise pilote.** Nous pouvons envisager d'appliquer notre modèle de processus de conception de FPI à des entreprises qui ont des modes de fonctionnement différents, des ressources différentes et qui ont aussi des besoins différents.

En complément, une troisième perspective réside dans la validation de notre roadmap au sein de l'entreprise pilote.

La roadmap a obtenu un accueil très favorable de la part d'un panel de personnels de l'entreprise pilote sur son utilisation projetée dans le cadre de scénarios représentatifs de conditions d'exécution de projets. Cependant, le panel restreint et la non mise en application effective demande une phase de validation complémentaire. Nous pourrions prévoir un panel de projets représentatifs des demandes des différents services de l'entreprise afin de tester l'application de notre roadmap. L'étude exploratoire (cf. Chapitre III : Etude exploratoire p.40) ainsi que nos nombreux échanges avec les équipes de formation des différents services de l'entreprise ont permis de réaliser l'inventaire de plusieurs demandes au sein desquelles nous pourrions tirer les projets tests.

Sur cette base, nous pourrions envisager une validation plus opérationnelle de notre roadmap avec des retours concrets qui permettraient le cas échéant de faire encore évoluer notre proposition.

Ainsi il pourrait être intéressant de faire appliquer le processus par d'autres personnes dont les salariés de l'entreprise pilote.

Une quatrième perspective consiste à compléter l'étude des phases de collaboration fortes au sein de notre processus de conception de FPI.

Lors de nos travaux, nous avons étudié la collaboration sur une phase spécifique du processus de conception à savoir la génération des scénarios pédagogiques. Nous pourrions continuer à investiguer ces travaux :

- **En complétant notre étude préliminaire sur l'impact des OIC sur la collaboration durant les phases de génération des scénarios pédagogiques** (cf. chapitre [Etude de l'impact des OICs pour la génération des scénarios](#) p.108). En effet, les conditions de réalisation de ce projet n'étaient pas adaptées à une étude plus rigoureuse. Nous pourrions envisager de tester (i) plusieurs types d'OICs avec des caractéristiques différentes, (ii) avec un panel de personnes plus important et (iii) de réitérer cela sur plusieurs projets. Cela nécessitera une analyse sur le long terme mais profitable pour continuer à apprendre sur les points de blocages et les éléments facilitateurs de cette étape.
- **En continuant l'inventaire et l'étude des phases de collaboration forte et multi métiers au sein de notre processus.** Là encore, il nous semble important de capitaliser des connaissances sur les éléments bloquants ou facilitateurs d'un maximum d'étapes afin de les améliorer au niveau de la qualité de collaboration. Nous pensons par exemple à la phase de convergence entre les séquences pédagogiques problématiques et les technologies immersives candidates à associer. Cette étape met en œuvre des futurs utilisateurs (formés et formateurs), des métiers différents (concepteur XR, ingénieur

pédagogique, responsable RH...) qui ont des connaissances, des compétences et des objectifs très différents.

- **En proposant de nouveaux outils support ou méthodes pour faciliter ces phases.** Il est essentiel de garantir que ces outils puissent être aisément utilisés par des individus qui ne sont pas des experts comme les futurs utilisateurs. Cette considération nous amène à nous interroger sur la structure des outils collaboratifs qui faciliteraient leur application par des utilisateurs ayant des niveaux de compétence variés, notamment dans le domaine des TI. En poussant plus loin la réflexion, il devient intéressant d'envisager la proposition de recommandations permettant aux concepteurs d'applications de déterminer par eux-mêmes les outils les plus appropriés à intégrer lors de leurs phases de convergence. Il est possible de suggérer l'adoption d'un protocole de définition des OIC similaire à celui présenté dans les travaux Al Khatib en 2015 pour répondre à cette exigence. En effet, Al Khatib avait proposé un modèle de OIC pour les phases de convergence produit-usage. Nous pourrions tenter de généraliser un modèle similaire au contexte de nos travaux.

Une dernière perspective que nous envisageons d'explorer réside dans l'opportunité d'intégrer les avancées technologiques, notamment l'intelligence artificielle (IA), dans notre processus de conception de FPI.

En effet, nos résultats ont pu mettre en évidence la difficulté pour des non-experts de participer à un projet de ce type aussi bien au niveau de l'appropriation du modèle de conception que des compétences requises pour y arriver. Aujourd'hui l'IA est utilisé de plus en plus pour la formation pour personnaliser l'apprentissage, assister les enseignants, accompagner le quotidien des enseignants et étudiants ([L'IA : outil d'assistance pédagogique pour l'apprentissage \(compilatio.net\)](#)) et (Zheng, 2022). Nous aimerions étudier les possibilités offertes ou non par les outils d'IA aux concepteurs pour contrecarrer ces difficultés :

- Par exemple, la génération de scénarios nous est apparue comme étant particulièrement complexe à mettre en œuvre. Nous n'avons pas toujours disposé des outils appropriés, ou bien ceux à notre disposition semblaient trop complexes à utiliser pour des non-experts. L'IA pourrait être une solution pour automatiser la création de scénarios et de storyboard, qu'ils soient sous forme de texte ou même d'éléments visuels pour aider les utilisateurs à mieux se projeter dans une future activité de formation. Cette approche pourrait accélérer le processus de génération et potentiellement être réalisée en temps réel lors de réunions, plutôt que d'attendre qu'un expert (pas tout le temps disponible) réalise ce travail après coup sur la base des idées exprimées.
- Nous pouvons également envisager d'exploiter davantage le potentiel de l'IA pour optimiser la mise en œuvre de la roadmap et la gestion de projets. L'IA pourrait jouer un rôle important de conseil en assistant les concepteurs dans la sélection des tâches les plus appropriées en fonction de la nature du projet, des conditions d'exécution et des ressources humaines et matérielles disponibles. En effet, nous avons observé durant nos différents projets que les tâches à effectuer variaient en fonction de ces éléments. Une bonne connaissance nous a permis de naviguer aisément dans notre processus mais l'IA serait un véritable atout pour les utilisateurs non-experts ou encore débutant de notre roadmap.

b. Des perspectives stratégiques au niveau de l'entreprise pilote

Les recherches entreprises dans le cadre de cette thèse ne constituent qu'une étape dans la démarche de l'entreprise pilote Stäubli visant à intégrer les TI dans ses activités de formation. Afin de soutenir la poursuite de ces efforts, **nous proposons une vision stratégique des actions à entreprendre dans les années à venir**. Dans la section suivante, nous présentons une définition originale des éléments stratégiques à considérer, puis nous proposons de suivre l'évolution de Stäubli sur ces axes, en commençant par l'état initial en 2020 au début de notre thèse, en passant par l'état intermédiaire qui correspond à la fin de notre thèse, et en projetant notre regard vers l'horizon 2030.

i. Définition des axes stratégiques

Sur la base de l'étude exploratoire (cf. Chapitre III : Etude exploratoire p.40) et des 3 années d'expérimentations et d'observations du fonctionnement de l'entreprise pilote, nous proposons cinq axes stratégiques qui sont prioritaires à prendre en compte :

- Stratégie de la gestion de la formation et de création de contenu de formation
- Stratégie de définition des besoins
- Stratégie des moyens alloués
- Stratégie des ressources humaines
- Stratégie globale de l'entreprise

Nous les définissons dans les paragraphes suivants.

Stratégie de la gestion de la formation et de création de contenu de formation

Notre **première recommandation (R1) est de définir une stratégie de la gestion de la formation et de la création de contenus de formation**. Cet axe sert à positionner l'entreprise pilote par rapport à son implication dans les formations internes en place dans l'entreprise.

Ici nous pouvons observer si les formations en place ont leurs contenus formalisés, s'il y a un suivi et une évaluation des compétences voir si elles sont disponibles dans une plateforme LMS pour gérer toute la partie logistique. Certaines entreprises ont par exemple des écoles de formations pour qualifier leurs employés et cherchent à intégrer ces nouvelles technologies pour créer des parcours hybrides. Afin de se positionner, nous proposons la grille suivante :

- 1 : Contenus des formations non formalisés
- 2 : Contenus formalisés mais pas de suivi des formations
- 3 : Contenus formalisés et moyen de suivi des formations mais pas d'évaluation des compétences
- 4 : Plateforme LMS en place pour gérer les formations (contenu, suivi et évaluation) mais pas de contenus utilisant les technologies XR
- 5 : Ecole de formation interne et en attente d'intégrer ces nouvelles technologies

Stratégie de définition des besoins

Notre **deuxième recommandation (R2) consiste à définir une stratégie de définition des besoins** vis-à-vis des technologies immersives pour les formations. Pour favoriser l'insertion des technologies immersives dans le cadre de la formation professionnelle, il est important que le projet réponde à un besoin et que la technologie apporte une plus-value par rapport à une modalité

de formation plus traditionnelle. La notion d'utilité est également forcément présente et liée à ces questionnements. D'après les entretiens de l'étude exploratoire, nous avons pu constater que dans le cas de l'entreprise Stäubli des besoins ont été exprimés mais ils n'ont pas été formalisés ou définis d'un point de vue XR. Nous proposons un positionnement sur la grille suivante :

- 1 : Pas de besoin
- 2 : Besoin non exprimé et non recensé
- 3 : Besoin exprimé mais pas formalisé ou défini d'un point de vue XR
- 4 : Besoin exprimé en lien avec la XR
- 5 : Besoin pour lequel la XR peut apporter une plus-value et avoir une utilité

Stratégie des moyens alloués

Une **troisième recommandation (R3) doit permettre de définir une stratégie au niveau des moyens alloués** par l'entreprise. C'est-à-dire si elle dispose ou non de matériel à utiliser pour une formation immersive voir même si elle dispose d'un espace dédié pour réaliser les formations. L'entreprise Stäubli ayant déjà réalisé des POC, elle avait déjà acquis plusieurs casques de réalité virtuelle. L'investissement dans du matériel de XR supplémentaire n'est pas anodin et doit se faire avec la recommandation R2. Afin de se positionner, nous proposons la grille suivante :

- 1 : Pas de matériel ni de financement
- 2 : Matériel utilisé en interne dans d'autres services
- 3 : Prévisions d'acquisitions
- 4 : Matériel à disposition mais pas d'espace pour l'utiliser
- 5 : Espace dédié pour l'utilisation du matériel et matériel disponible

Stratégie des ressources humaines

La quatrième recommandation (R4) concerne la stratégie des RH. En effet, les moyens matériels et les besoins doivent très souvent être rapportés à des capacités en RH données. Nous avons conseillé à l'entreprise de mettre à disposition des moyens humains pour la mise en place de formation immersive. Ici, il est important de savoir si l'entreprise pilote a ou aura à disposition des référents pour piloter les projets et aussi de connaître leur niveau de compétences dans ce domaine. A l'heure actuelle, l'entreprise dispose d'un pilote projet possédant des compétences en XR et met également à disposition des personnes des métiers concernés pour participer aux projets. Pour compléter son positionnement, nous avons défini la grille suivante :

- 1 : Aucune ressource humaine pour piloter le projet
- 2 : Un pilote projet pour conduire le projet
- 3 : Pilote projet avec peu de connaissance en XR et des parties prenantes disponibles pour participer
- 4 : Référents formation qui n'ont pas les capacités/compétences pour intégrer les TI dans leurs process
- 5 : Référents formation qui ont monté en compétences sur le domaine et prêts à intégrer dans leurs activités

Stratégie globale de l'entreprise

Notre dernière et cinquième recommandation (R5) vise la définition d'une stratégie globale d'entreprise vis-à-vis de l'intégration des formations immersives. Certaines entreprises ont besoin de définir une vision ou une politique à déployer à l'ensemble des cas d'usage potentiels. Ici, il nous semble important de positionner les ambitions de Stäubli sur l'axe suivant :

- 1 : Pas de plan d'action
- 2 : Pas de plan d'action mais sur opportunité
- 3 : Plan d'action sur un cas d'utilisation
- 4 : Plan d'action sur plusieurs cas d'utilisation
- 5 : Plan d'action sur tous les cas d'usage éligibles

ii. Proposition de perspectives à horizon 2030

Nous proposons de créer le profil de l'entreprise pilote sur la base des axes stratégiques en la positionnant sur chaque grille d'évaluation associée. Ce profil prend la forme d'un graphique de type radar (Figure 56). A l'aide de cet outil, nous avons comparé l'entreprise Stäubli au début et à la fin de la thèse et proposé une vision à l'horizon 2030.

Au démarrage de la thèse en 2020

- En ce qui concerne la formation, nous avons constaté que la formation externe était bien gérée mais qu'il existait un manque en ce qui concerne la formation interne, en particulier pour le compagnonnage. Des formations dispensées en compagnonnage au niveau de certains ateliers n'étaient pas référencées au niveau du service RH et des supports de formation n'étaient pas formalisés.
- Malgré l'identification de certains besoins initiaux par le biais d'initiatives locales au sein de certains services, ces besoins n'avaient pas été officiellement documentés à l'échelle de l'ensemble des services. De plus, il n'y avait pas eu de démarche de liaison formelle avec les outils de XR.
- En ce qui concerne les ressources matérielles, quelques casques avaient été récemment achetés à des fins de tests mais leur utilisation n'était pas encore organisée au niveau de l'entreprise.
- Sur le plan des ressources humaines, deux personnes avaient précédemment dirigé des projets liés au TI mais sans pour autant constituer leur mission principale.
- Enfin en ce qui concerne la stratégie globale, les technologies immersives avaient été utilisées de manière opportuniste, sans la présence de plan d'action clairement défini au niveau général de l'entreprise.

A la conclusion de mes travaux de thèse :

- Conforté par le retour de notre étude exploratoire fait au service RH, ce dernier a pris la décision de **répertorier toutes les formations internes, y compris le compagnonnage**, et de mettre en place un **système de suivi avec l'utilisation d'un logiciel et d'une plateforme LMS**.
- Notre étude exploratoire et les différents échanges avec les différentes divisions de l'entreprise nous ont permis de dresser un **inventaire assez large des besoins exprimés en termes de formation immersive**. Nous avons aussi démontré de l'utilité des applications développées au cours de ces 3 dernières années.
- En ce qui concerne les ressources matérielles, nous avons fait l'acquisition d'autres casques et **mis en en place une salle immersive dédiée à la formation**.



Figure 55 - Salle immersive dédiée à la formation dans l'entreprise pilote

- Sur le plan des ressources humaines, nous avons renforcé nos compétences en gestion et conception de formations professionnelles utilisant les technologies immersives. **La roadmap proposée est un support disponible pour les équipes de Stäubli qui permettra d'avoir un guide méthodologique.** Cependant, au niveau de l'entreprise pilote, nous n'avons pas encore de référent en formation capable d'intégrer notre processus de conception de FPI dans ces activités.
- Enfin concernant la stratégie globale, l'entreprise Stäubli a maintenant des cas d'usage en production obtenus par les différents projets réalisés dans le cadre de nos travaux. Ils constituent une base de cas qui peuvent servir les nouveaux projets. De plus, **de nouveaux plans d'actions sont en place au niveau de certaines Divisions.** Nous pensons au projet de formation à la machine de trempe qui implique la Division textile en lien avec le service maintenance et sûreté sécurité et environnement.

Pour les années à venir, nous pensons que l'entreprise pilote a des priorités assez ciblées.

- En ce qui concerne la formation, nous recommandons de créer davantage de parcours de formation hybrides en combinant des sessions en présentiel et en immersif. Pour faciliter l'organisation, il serait pertinent d'intégrer les prochaines formations immersives dans le nouveau logiciel de gestion LMS de l'entreprise. Cela faciliterait la gestion des formations et l'accessibilité par les utilisateurs. Cependant, cela nécessitera de faire monter en compétence les services formations.
- Notre étude exploratoire pourrait être reconduite et étendue à toute l'entreprise pour compléter l'inventaire des besoins exprimés en termes de formation immersive. Cela permettra d'accroître la visibilité des applications créées et de démontrer l'importance des TI dans le domaine de la formation professionnelle.
- Au niveau des ressources humaines, pour Stäubli, la priorité réside dans le renforcement des compétences de son personnel. Il est impératif d'étendre la maîtrise de ces nouvelles technologies à un nombre accru de collaborateurs (sur l'ensemble des divisions par exemple) et qu'ils puissent maîtriser le processus de conception de FPI.

- Au niveau de la stratégie globale de l'entreprise, il nous semble que Stäubli devrait impulser une action généralisée au niveau de toutes les Divisions afin de développer au moins un cas d'usage dans les 2 années à venir. Cette initialisation des premiers cas d'usage devra être complétée par la définition d'un plan d'action proposant les projets à réaliser sur la base de l'inventaire des besoins définis dans le cadre de nos travaux de thèse.

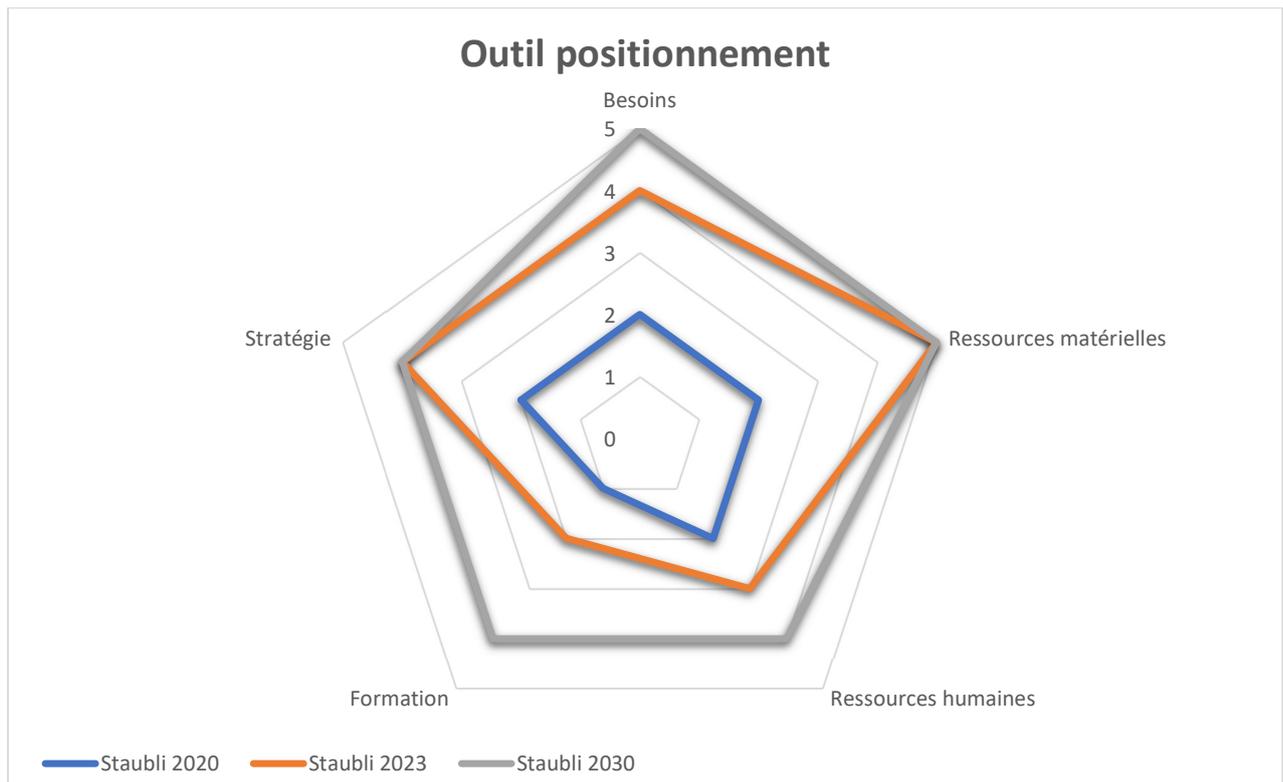


Figure 56 - Outil positionnement

Bibliographie

- Abed, H. *et al.* (2016) 'Scenario Modeling for Serious Games: An Approach for Industry Sector'.
- Aghilinejad, M. *et al.* (2015) 'The role of ergonomic training interventions on decreasing neck and shoulders pain among workers of an Iranian automobile factory: a randomized trial study', 29, p. 6.
- Akçayır, M. and Akçayır, G. (2017) 'Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature', *Educational Research Review*, 20, pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>.
- Akkerman, S.F. and Bakker, A. (2011) 'Boundary crossing and boundary objects', *Review of educational research*, 81(2), pp. 132–169.
- Al Khatib, A. *et al.* (2014) 'Management of intermediary objects in the context of multidisciplinary convergence: Towards CBR', in *TMCE 2014. Tools and Methods of competitive Engineering*, Hungaria, Budapest, p. 12.
- Al Khatib, A. (2015) *Conception collaborative du couple produit/usage : approche à travers des objets intermédiaires de conception*. thesis. Belfort-Montbéliard. Available at: <http://www.theses.fr/2015BELF0273> (Accessed: 11 October 2018).
- Alben, L. (1996) 'Quality of experience: defining the criteria for effective interaction design', *Interactions*, 3(3), pp. 11–15. Available at: <https://doi.org/10.1145/235008.235010>.
- Alvarez, J. and Djaouti, D. (2011) 'An introduction to Serious game Definitions and concepts', *Serious Games & Simulation for Risks Management*, 11, pp. 11–15.
- Aoussat, A., Christofol, H. and Le Coq, M. (2000) 'The new product design - a transverse approach', *Journal of Engineering Design*, 11(4), pp. 399–417. Available at: <https://doi.org/10.1080/09544820010000971>.
- Arnaldi, B. *et al.* (2018) *Réalité virtuelle et réalité augmentée: mythes et réalités*.
- Azuma, R.T. (1997) 'A survey of augmented reality', *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 6(4), pp. 355–385.
- Baker, M., Détienne, F. and Burkhardt, J.-M. (2013) 'Quality of collaboration in design: articulating multiple dimensions and viewpoints', in *1st Interdisciplinary Innovation conference*, p. 15.
- Baudouin, C. *et al.* (2007) 'Recueil de traces pour le suivi de l'activité d'apprenants en travaux pratiques dans un environnement de réalité virtuelle', *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, 14(1), pp. 389–418. Available at: <https://doi.org/10.3406/stice.2007.967>.
- Bauer, H. *et al.* (2018) 'Integration of Industrie 4.0 in Lean Manufacturing Learning Factories', *Procedia Manufacturing*, 23, pp. 147–152. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.008>.

Bennes, L. (2013) *Vers une méthodologie de développement d'outils de réalité virtuelle pour faciliter la convergence métiers en conception de produits centrée sur l'homme*. Thèse de doctorat. Université de Technologie Belfort Montbéliard.

Bennes, L., Bazzaro, F. and Sagot, J.-C. (2011) 'Réflexions sur une méthodologie de conception de techniques d'interaction en réalité virtuelle dédiées à la collaboration inter-métier', in.

Bernard, F. *et al.* (2019a) 'Integration of human factors into the design process of helicopter maintainability', *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 29(4), pp. 350–360. Available at: <https://doi.org/10.1002/hfm.20792>.

Bernard, F. *et al.* (2019b) 'Using Digital and Physical Simulation to Focus on Human Factors and Ergonomics in Aviation Maintainability', *Human Factors*, p. 0018720819861496. Available at: <https://doi.org/10.1177/0018720819861496>.

Bernard, F. *et al.* (2019c) 'Virtual Reality Simulation and Ergonomics Assessment in Aviation Maintainability', in S. Bagnara *et al.* (eds) *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)*. Cham: Springer International Publishing (Advances in Intelligent Systems and Computing), pp. 141–154. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-96077-7_15.

Bersier, J.P. (1995) 'IDEF3, Méthode de description des processus, description, application industrielle, perspectives'.

Bert, N. *et al.* (2021) 'Module pédagogique pour l'initiation à la robotique industrielle : un exemple d'instrumentation en réalité virtuelle'. *3ème Journées Nationales de l'Enseignement en Robotique (JNER)*, AUBIERE (France), 21 June.

Bevan, S. (2015) 'Economic impact of musculoskeletal disorders (MSDs) on work in Europe', *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 29(3), pp. 356–373. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.berh.2015.08.002>.

Bisson, I. *et al.* (2021) 'CADRE CONCEPTUEL APPLIQUE A LA CONCEPTION DE FORMATION PROFESSIONNELLE IMMERSIVE', p. 17.

Bisson, I. *et al.* (2023) 'EFFECT OF INTERMEDIARY OBJECT USE DURING COLLABORATIVE DESIGN ACTIVITIES OF IMMERSIVE APPLICATIONS: FOCUS ON PROFESSIONAL TRAINING APPLICATION', *Proceedings of the Design Society*, 3, pp. 1555–1564. Available at: <https://doi.org/10.1017/pds.2023.156>.

Blandford, A. *et al.* (2008) 'Evaluating system utility and conceptual fit using CASSM', *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(6), pp. 393–409. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2007.11.005>.

Boccaro, V. (2018) 'Training design oriented by works analysis', in *Beyond Safety Training*. Springer, Cham, pp. 117–126.

Boccaro, V. and Delgoulet, C. (2015) 'L'analyse des travaux pour la conception en formation. Contribution de l'ergonomie à l'orientation de la conception amont d'un environnement virtuel pour la formation', *Activités*, 12(12–2). Available at: <https://doi.org/10.4000/activites.1098>.

Boujut, J.-F. (2003) 'User-defined annotations: artefacts for co-ordination and shared understanding in design teams', *Journal of Engineering Design*, 14(4), pp. 409–419. Available at: <https://doi.org/10.1080/09544820310001606885>.

Boujut, J.-F. and Blanco, E. (2003) 'Intermediary Objects as a Means to Foster Co-operation in Engineering Design', *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, 12(2), pp. 205–219. Available at: <https://doi.org/10.1023/A:1023980212097>.

Boutigny, E. (2004) 'Coopération dans l'entreprise et compétence collective', in *Actes du 15e Congrès de l'AGRH*, pp. 1328–1342.

Bracq, M.-S. et al. (2019) 'Learning procedural skills with a virtual reality simulator: An acceptability study', *Nurse Education Today*, 79, pp. 153–160. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2019.05.026>.

Brangier, E. and Bastien (2015) 'L'évolution de l'ergonomie des produits informatiques: accessibilité, utilisabilité, émotionnalité et influençabilité', in Valléry, G., Port, M.-C. le, and Zouinar, M., *Ergonomie, conception de produits et services médiatisés*. Presses Universitaires de France, p. 384.

Broberg, O., Andersen, V. and Seim, R. (2011) 'Participatory ergonomics in design processes: The role of boundary objects', *Applied Ergonomics*, 42(3), pp. 464–472. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2010.09.006>.

Burkhardt, J.-M. (2003) 'Réalité virtuelle et ergonomie : quelques apports réciproques', *Le travail humain*, Vol. 66(1), pp. 65–91.

Burkhardt, J.-M. et al. (2009) 'An approach to assess the quality of collaboration in technology-mediated design situations', in *European Conference on Cognitive Ergonomics: Designing beyond the Product—Understanding Activity and User Experience in Ubiquitous Environments*. VTT Technical Research Centre of Finland, p. 30.

Caplan, S. (1990) 'Using focus group methodology for ergonomic design', *Ergonomics*, 33(5), pp. 527–533. Available at: <https://doi.org/10.1080/00140139008927160>.

Carlile, P.R. (2004) 'Transferring, Translating, and Transforming: An Integrative Framework for Managing Knowledge across Boundaries', *Organization Science*, 15(5), pp. 555–568.

Caudell, T.P. and Mizell, D.W. (1992) 'Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes', in *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 659–669 vol.2. Available at: <https://doi.org/10.1109/HICSS.1992.183317>.

Cazamian, P., Hubault, F. and Noulain, M. (1996) *Traité d'ergonomie*. Nouv. éd. actualisée. Toulouse: Octares éd (Collection Travail).

Charlier, B., Daele, A. and Deschryver, N. (2002) 'Vers une approche intégrée des technologies de l'information et de la communication dans les pratiques d'enseignement', *Revue des sciences de l'éducation*, 28(2), pp. 345–365. Available at: <https://doi.org/10.7202/007358ar>.

Clarkson, J. and Eckert, C. (2010) *Design Process Improvement: A review of current practice*. Springer Science & Business Media.

CNAMTS: Cour des comptes (2016) *Rapport public thématique : La gestion du risque accidents du travail et risques professionnels. annuel, caisse nationale d'assurance maladie des travailleurs salariés*. Paris.

Cormier, J. (2013) 'Mobiliser une analyse de l'activité comme aide à la conception et à l'évaluation d'un Environnement Virtuel pour l'Apprentissage Humain: un exemple en implantologie dentaire', p. 223.

Cross, N. (2008) *Engineering design methods: strategies for product design*. 4th ed. Chichester, England ; Hoboken, NJ: J. Wiley.

Daniels, K. *et al.* (2017) 'Job design, employment practices and well-being: a systematic review of intervention studies', *Ergonomics*, 60(9), pp. 1177–1196. Available at: <https://doi.org/10.1080/00140139.2017.1303085>.

Delgoutet, C. *et al.* (2015) 'How designing a virtual environment for professional training from an activity framework?', in *Proceedings 19th Triennial Congress of the International Ergonomics Association*. Melbourne, Australia. Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01253409>.

Drecq, V. (2020) *Pratiques de management de projet*. 3e éd. Dunod (Management / Leadership).

Firman, F., Muhsin, M.A. and Goestina, G. (2021) 'Online Based Learning Management System (LMS) on Student Academic Performance', *AL-ISHLAH: Jurnal Pendidikan*, 13(1), pp. 788–793. Available at: <https://doi.org/10.35445/alishlah.v13i1.415>.

Fleche, D. *et al.* (2014) 'Proposition of a new and complementary evaluation approach of collaborative tools in product design process', in *TMCE 2014. Tools and Methods of competitive Engineering*, Hungaria, Budapest, p. 12.

Fleche, D. (2015) *Pilotage de projets en conception collaborative de produits : définition d'un indicateur quantitatif*. thesis. Belfort-Montbéliard. Available at: <http://www.theses.fr/2015BELF0277> (Accessed: 11 October 2018).

Fleche, D. *et al.* (2017) 'Collaborative project: Evolution of computer-aided design data completeness as management information', *Concurrent Engineering Research and Applications*, 25(3), pp. 212–228. Available at: <https://doi.org/10.1177/1063293X17694416>.

Frejus *et al.* (1997) 'Conception de systèmes de réalité virtuelle pour la formation d'agents de maintenance.', in *Congrès de la SELF*. Lyon, France.

Fuchs, P. *et al.* (2006) *Le traité de la réalité virtuelle - Volume 1: L'homme et l'environnement virtuel*. 3rd edn. Paris: Transvalor - Presses des mines.

Ganier, F., Hoareau, C. and Devillers, F. (2013) 'Évaluation des performances et de la charge de travail induits par l'apprentissage de procédures de maintenance en environnement virtuel', *Le travail humain*, 76(4), p. 335. Available at: <https://doi.org/10.3917/th.764.0335>.

Gartner (2016) *Gartner's Top 10 Strategic Technology Trends for 2017*. Available at: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartners-top-10-technology-trends-2017/> (Accessed: 18 April 2019).

Gartner (2018) 'Gartner Top 10 Strategic Technology Trends for 2019'. Available at: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2019>.

Gaudin, C. *et al.* (2009) 'Collective Decision-Making in Complex Situations: a Dynamic Role in Alert Management', in *9th Bi-annual International Conference on Naturalistic Decision Making (NDM9)*. Available at: <https://doi.org/10.14236/ewic/NDM2009.56>.

Gero, J.S. and Mc Neill, T. (1998) 'An approach to the analysis of design protocols', *Design Studies*, 19(1), pp. 21–61. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(97\)00015-X](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(97)00015-X).

Glotova, A.V. and Zubkova, M.A. (2020) 'FOREIGN LANGUAGE TEACHING VIA LMS MOODLE AT THE UNIVERSITY: DIDACTIC APPROACHES TO THE ORGANIZATION OF THE EDUCATIONAL PROCESS', *Russian Journal of Education and Psychology*, 11(5), pp. 35–56. Available at: <https://doi.org/10.12731/2658-4034-2020-5-35-56>.

Guerlesquin, G. (2012) *Articulation Ergonomie-Design-Conception Mécanique : approche méthodologique de la convergence multidisciplinaire*. thesis. Belfort-Montbéliard. Available at: <http://www.theses.fr/2012BELF0181> (Accessed: 11 October 2018).

Guerlesquin, G., Mahdjoub, M. and Sagot, J.-C. (2011) 'Multidisciplinary design methodology : an intermediate representation tool based on virtual reality', in *4th International Multi-Conference on Engineering and Technological Innovation. 4th International Multi-Conference on Engineering and Technological Innovation*, Orlando, Florida, USA, p. 6.

Hassenzahl, M. and Tractinsky, N. (2006) 'User experience - a research agenda', *Behaviour & Information Technology*, 25(2), pp. 91–97. Available at: <https://doi.org/10.1080/01449290500330331>.

Heisig, P., Clarkson, P.J. and Vajna, S. (eds) (2010a) *Modelling and Management of Engineering Processes*. London: Springer London. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-1-84996-199-8>.

Heisig, P., Clarkson, P.J. and Vajna, S. (eds) (2010b) *Modelling and Management of Engineering Processes*. London: Springer London. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-1-84996-199-8>.

Hireche, L. *et al.* (2023) 'AUGMENTED REALITY APPLICATION FOR PULMONARY AUSCULTATION LEARNING AID', *Proceedings of the Design Society*, 3, pp. 697–706.

Hoareau, C. *et al.* (2013) 'Evaluation de l'utilité d'un Environnement Virtuel pour l'apprentissage humain'. Available at: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3664.8721>.

Hoareau, C., Ganier, F. and Devillers, F. (2007) 'Évaluation de l'apprentissage de procédures avec GVT, environnement virtuel d'apprentissage d'opérations de maintenance', p. 8.

Hoe, V.C. *et al.* (2012) 'Ergonomic design and training for preventing work-related musculoskeletal disorders of the upper limb and neck in adults', *Cochrane Database of Systematic Reviews* [Preprint]. Edited by Cochrane Work Group. Available at: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008570.pub2>.

Hogan, D.A.M., Greiner, B.A. and O'Sullivan, L. (2014) 'The effect of manual handling training on achieving training transfer, employee's behaviour change and subsequent reduction of work-related musculoskeletal disorders: a systematic review', *Ergonomics*, 57(1), pp. 93–107. Available at: <https://doi.org/10.1080/00140139.2013.862307>.

'ISO 13407:1999' (1999).

Jeantet, A. *et al.* (1996a) 'La coordination par les objets dans les équipes intégrées de conception de produit', in. Terssac G., Friedberg E. (éds), *Coopération et conception*. Toulouse : Éd. Octares, pp. 87–100.

Jeantet, A. *et al.* (1996b) 'La coordination par les objets dans les équipes intégrées de conception de produit.', in De Terssac, G. and Friedberg, E., *Coopération et conception*. Ed. Octares. Toulouse, pp. 87–100.

Jeantet, A. (1998a) 'Les objets intermédiaires dans la conception. Éléments pour une sociologie des processus de conception', *Sociologie du travail*, 40(3), pp. 291–316. Available at: <https://doi.org/10.3406/sotra.1998.1333>.

Jeantet, A. (1998b) 'Les objets intermédiaires dans la conception. Éléments pour une sociologie des processus de conception', *Sociologie du travail*, 40(3), pp. 291–316. Available at: <https://doi.org/10.3406/sotra.1998.1333>.

Kemanji, K.V. (2020) 'Method for developing virtual reality applications for cognitive intensive training tasks', in *Proceedings of the 12th ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems. EICS '20: ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems*, Sophia Antipolis France: ACM, pp. 1–5. Available at: <https://doi.org/10.1145/3393672.3398645>.

Khatib, A.A. (2015) 'The impact of immersive Virtual Reality On collaboration in Design Meetings: A comparative Study', in *45th International Conference on Computers & Industrial Engineering. CIE45*, Metz (54), France.

Khatib, A.A. (2018) 'Conception collaborative du couple produit/usage: approche à travers des objets intermédiaires de conception', p. 310.

Kim, K.R. and Moon, N.M. (2013) 'Designing a social learning content management system based on learning objects', *Multimedia Tools and Applications*, 64(2), pp. 423–437. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11042-012-1014-3>.

Kobenan, K.J.-M. (2016) *Contribution à l'évaluation de la qualité de la collaboration en conception de produits*. phdthesis. Université Grenoble Alpes. Available at: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01688820> (Accessed: 13 August 2021).

Lallemand, C., Gronier, G. and Dugué, M. (2018) *Méthodes de design UX: 30 méthodes fondamentales pour concevoir des expériences optimales*. 2e éd. Paris: Eyrolles (Design Web).

Laureillard, P. (2000) *Conception intégrée dans l'usage: Mise en oeuvre d'un dispositif d'intégration produit-process dans une filière de conception de pièces forgées*. Thèse de doctorat. INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE. Available at: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00446119> (Accessed: 1 December 2019).

Le Bellu, S. (2016) 'Apprendre les secrets d'une profession au travers de l'expérience temps-réel des experts : capturer et transférer aux novices les savoirs professionnels tacites d'expérience', *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé* [Preprint], (18–1). Available at: <https://doi.org/10.4000/pistes.4658>.

Li, X. *et al.* (2018) 'A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety', *Automation in Construction*, 86, pp. 150–162. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003>.

Lin, H.-C.K., Chen, M.-C. and Chang, C.-K. (2015) 'Assessing the effectiveness of learning solid geometry by using an augmented reality-assisted learning system', *Interactive Learning Environments*, 23(6), pp. 799–810. Available at: <https://doi.org/10.1080/10494820.2013.817435>.

Loup-Escande, E. *et al.* (2011) 'La méthode I2I "pour l'utilité" : fondements et application à la conception d'une application de réalité virtuelle', in *9e Congrès International de Génie Industriel*. Canada. Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00782406> (Accessed: 5 November 2019).

Loup-Escande, E. *et al.* (2013) 'La démarche de Conception Centrée-Utilisateur en Réalité Virtuelle : l'exemple du projet VirtualiTeach', in.

Loup-Escande, E., Jamet, E., *et al.* (2015) 'Comment concevoir une plate-forme ergonomique de réalité virtuelle pour l'apprentissage de concepts scientifiques?', p. 7.

Loup-Escande, E., Jamet, É., *et al.* (2015) 'Concevoir des environnements virtuels éducatifs avec les utilisateurs finaux : Exemple du projet VirtualiTeach', *Terminal* [Preprint], (117). Available at: <https://doi.org/10.4000/terminal.1093>.

Loup-Escande, É., Burkhardt, J.-M. and Richir, S. (2013) 'Anticiper et évaluer l'utilité dans la conception ergonomique des technologies émergentes : une revue', *Le travail humain*, Vol. 76(1), pp. 27–55.

Lourdeaux, D. (2001) *Réalité virtuelle et formation: conception d'environnements virtuels pédagogiques*. Thèse de doctorat.

Lourdeaux, D. (2012) 'Réalité virtuelle et formation', *Le traitement du signal et ses applications* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.51257/a-v2-te5975>.

Lu, A.S. and Kharrazi, H. (2018) 'A State-of-the-Art Systematic Content Analysis of Games for Health', *Games for Health Journal*, 7(1), pp. 1–15. Available at: <https://doi.org/10.1089/g4h.2017.0095>.

Mahdjoub, M. (2007) *La réalité virtuelle pour une conception de systèmes mécaniques centrée sur l'utilisateur*. thesis. Besançon. Available at: <http://www.theses.fr/2007BESA2039> (Accessed: 11 October 2018).

Mahdjoub, M. *et al.* (2008) 'La réalité virtuelle au service de la fonction d'usage des produits', in. *Deuxième journée de l'AFRV (Association Française de Réalité Virtuelle, Augmentée, Mixte et Interaction 3D)*, Marseille, France.

Mahdjoub, M. *et al.* (2013) 'Multidisciplinary convergence about "product-use" couple: Intermediary object's structure', in *ICED 2013. 19th International Conference on Engineering Design*, SEOUL, SOUTH KOREA, p. 12.

Marfisi-Schottman, I. *et al.* (2009) 'Vers une industrialisation de la conception et de la production de Serious Games'.

Margaryan, A., Littlejohn, A. and Vojt, G. (2011) 'Are digital natives a myth or reality? University students' use of digital technologies', *Computers & Education*, 56(2), pp. 429–440. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.09.004>.

Martín-Gutiérrez, J. (2017) 'Virtual Technologies Trends in Education', *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(1). Available at: <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00626a>.

Marty, L. (2021) 'Chapitre 12. Le focus group', in *Les méthodes qualitatives en psychologie clinique et psychopathologie*. Paris: Dunod (Univers Psy), pp. 197–213. Available at: <https://doi.org/10.3917/dunod.casti.2021.01.0197>.

Mer, S., Jeantet, A. and Tichkiewitch, S. (1995) 'Les objets intermédiaires de la conception: modélisation et communication', *Le communicationnel pour concevoir*, pp. 21–41.

Milgram, P. and Kishino, F. (1994) 'A taxonomy of mixed reality visual displays', *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 77(12), pp. 1321–1329.

Moussavi, S.E. (2019) 'Balancing high operator's workload through a new job rotation approach_ Application to an automotive assembly line', *International Journal of Industrial Ergonomics*, p. 9.

Nastasia, I., Coutu, M.-F. and Tcaciuc, R. (2014) 'Topics and trends in research on non-clinical interventions aimed at preventing prolonged work disability in workers compensated for work-related musculoskeletal disorders (WRMSDs): a systematic, comprehensive literature review', *Disability and Rehabilitation*, 36(22), pp. 1841–1856. Available at: <https://doi.org/10.3109/09638288.2014.882418>.

Norman, D.A. and Draper, S.W. (1986) *User centered system design: New perspectives on human-computer interaction*. CRC Press.

Norval, M. *et al.* (2019) 'Operational leeway in work situations: do ergonomic risk assessment tools consider operational leeway for job analysis?', *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 25(3), pp. 429–442. Available at: <https://doi.org/10.1080/10803548.2017.1387392>.

Oubahssi, L. *et al.* (2018) 'A process of design and production of Virtual Reality Learning Environments'.

Ouellet, S. (2013) 'Contribution de l'ergonomie à la conception d'un outil de formation', *Activites*, 10(2). Available at: <https://doi.org/10.4000/activites.690>.

Parmentier, C. (2011) *L'essentiel de la formation: préparer, animer, évaluer: 89 fiches opérationnelles*. 2e édition. Paris: Eyrolles.

Pastré, P., Mayen, P. and Vergnaud, G. (2006) 'La didactique professionnelle', *Revue française de pédagogie*, (154), pp. 145–198. Available at: <https://doi.org/10.4000/rfp.157>.

Patel, H., Pettitt, M. and Wilson, J.R. (2012) 'Factors of collaborative working: A framework for a collaboration model', *Applied Ergonomics*, 43(1), pp. 1–26. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.04.009>.

Pérez-López, D. and Contero, M. (2013) 'Delivering educational multimedia contents through an augmented reality application: A case study on its impact on knowledge acquisition and retention', *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 12(4), p. 10.

Perruccio, A.V. *et al.* (2017) 'Musculoskeletal Disorders: A Neglected Group at Public Health and Epidemiology Meetings?', *American Journal of Public Health*, 107(10), pp. 1584–1585. Available at: <https://doi.org/10.2105/AJPH.2017.303990>.

Petty, C. (2018) *3 Reasons Why VR and AR Are Slow to Take Off*. Available at: <http://www.gartner.com/smarterwithgartner/3-reasons-why-vr-and-ar-are-slow-to-take-off/> (Accessed: 3 October 2019).

Post, W.M., Huis in 't Veld, M.A.A. and van den Boogaard, S.A.A. (2008) 'Evaluating meeting support tools', *Personal and Ubiquitous Computing*, 12(3), pp. 223–235. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00779-007-0148-1>.

Powers, F.E. and Moore, R.L. (2023) 'Organizational Analysis in Preparation for LMS Change: a Narrative Case Study', *TechTrends*, 67(1), pp. 133–142. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11528-022-00784-z>.

Premsky Marc (2001) 'Digital Natives, Digital Immigrants Part 1', *On the Horizon*, 9(5), pp. 1–6. Available at: <https://doi.org/10.1108/10748120110424816>.

Pront, L. *et al.* (2018) 'Gaming in Nursing Education: A Literature Review', *Nursing Education Perspectives*, 39(1), pp. 23–28. Available at: <https://doi.org/10.1097/01.NEP.0000000000000251>.

Rahman, N., Cheng, R. and Bayerl, P.S. (2013) 'Synchronous versus asynchronous manipulation of 2D-objects in distributed design collaborations: Implications for the support of distributed team processes', *Design Studies*, 34(3), pp. 406–431. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.destud.2012.11.003>.

Renaud, J. (2020) 'Évaluer l'utilisabilité, l'utilité et l'acceptabilité d'un outil didactique au cours du processus de conception continuée dans l'usage: Cas d'un outil pour l'enseignement de la lecture de textes documentaires numériques', *Éducation et didactique*, (14–2), pp. 65–84. Available at: <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.6756>.

Rezaghali, M. (2016) 'Differential Socio-Economic Effects of Work Environmental Risk Factors', *Medical Economics*, p. 9.

Rezaghali, M. and Bantekas, A. (2015) 'Making Economic Social Decisions for Improving Occupational Health-A Predictive Cost-Benefit Analysis', 3(6), p. 10.

Richir, S. *et al.* (2015) 'How to design compelling Virtual Reality or Augmented Reality experience?', *International Journal of Virtual Reality*, 15(1), pp. 35–47.

Richir, S. and Fuchs, P. (2006) 'LA MÉTHODE : « Interaction et Immersion pour l'Innovation »', *Techniques de l'ingénieur Réalité virtuelle*, base documentaire : TIB299DUO.(ref. article : te5910). Available at: <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/technologies-de-l-information-th9/realite-virtuelle-42299210/la-methode-interaction-et-immersion-pour-l-innovation-te5910/>.

Rivillis, I. *et al.* (2008) 'Effectiveness of participatory ergonomic interventions on health outcomes: A systematic review', *Applied Ergonomics*, p. 17.

Sagot, J.C. (1999) 'Ergonomie et conception anthropocentrée', *Document pour l'Habilitation adiriger des recherches, Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL), Nancy*, 21.

Sagot, J.-C. and Gomes, S. (2003) 'Intégration des facteurs humains dans la démarche de conception. Une approche ergonomique', *Cahiers de notes documentaires-Hygiène et sécurité du travail*, 191, pp. 61–71.

Sagot, J.-C., Gouin, V. and Gomes, S. (2003) 'Ergonomics in product design: safety factor', *Safety science*, 41(2–3), pp. 137–154.

Samurçay and Rogalski (1998) 'Exploitation didactique des situations de simulation', *Le Travail Humain*, 61(4), pp. 333–359.

Santos, M.E.C. *et al.* (2014) 'Augmented Reality Learning Experiences: Survey of Prototype Design and Evaluation', *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 7(1), pp. 38–56. Available at: <https://doi.org/10.1109/TLT.2013.37>.

Savory, P., Crowe, J.V. and Hallbeck, M.S. (2012) 'Focus group analysis of hand-held radiation detector design', *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(1), pp. 17–24. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2011.11.003>.

Schoolov, K. (2019) *Virtual reality training by companies like Microsoft is saving lives, millions of dollars, and ensuring the future of mixed reality*, *CNBC*. Available at: <https://www.cnbc.com/2019/01/11/vr-training-by-microsoft-and-pixo-vr-saving-money-and-saving-lives.html> (Accessed: 2 October 2019).

Shen, W., Hao, Q. and Li, W. (2008) 'Computer supported collaborative design: Retrospective and perspective', *Computers in Industry*, 59(9), pp. 855–862. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2008.07.001>.

Shin, D.-H., Biocca, F. and Choo, H. (2013) 'Exploring the user experience of three-dimensional virtual learning environments', *Behaviour & Information Technology*, 32(2), pp. 203–214. Available at: <https://doi.org/10.1080/0144929X.2011.606334>.

Sisto, M. *et al.* (2018) 'Virtual Reality Serious Game for Musculoskeletal Disorder Prevention', in L.T. De Paolis and P. Bourdot (eds) *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics*. Cham: Springer International Publishing, pp. 43–59. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-95282-6_4.

Stewart, D.W., Shamdasani, P.N. and Rook, D.W. (2007) *Focus groups: Theory and practice, 2nd ed.* Thousand Oaks, CA, US: Sage Publications, Inc (Focus groups: Theory and practice, 2nd ed), pp. xii, 188. Available at: <https://doi.org/10.4135/9781412991841>.

Sultan-Taïeb, H. *et al.* (2017) 'Economic evaluations of ergonomic interventions preventing work-related musculoskeletal disorders: a systematic review of organizational-level interventions', *BMC Public Health*, 17(1), p. 935. Available at: <https://doi.org/10.1186/s12889-017-4935-y>.

'Tag Website' (2019) *Tag Website*. Available at: <https://www.tagww.com/casestudy/work-revolutionizing-safety-training-with-virtual-reality-at-dhl/> (Accessed: 8 October 2019).

Takala, E.-P. *et al.* (2010) 'Systematic evaluation of observational methods assessing biomechanical exposures at work', *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 36(1), pp. 3–24. Available at: <https://doi.org/10.5271/sjweh.2876>.

Taupiac, J.-D. *et al.* (2019) 'Training soldiers to calibration procedures in Virtual Reality, the FELIN IR sight use case', p. 10.

Tcha-Tokey, K. (2018) *Conception et évaluation de l'expérience utilisateur en environnement virtuel immersif*. Thèse de doctorat. Arts et Métiers ParisTech.

Thomann, G. *et al.* (2023) 'Utilisation de la Réalité augmentée pour l'enseignement de gestes de kinésithérapie', in *S. mart, 18^{ème} colloque National*, pp. 6-pages. Available at: <https://hal.science/hal-04102504/document> (Accessed: 3 November 2023).

TICHKIEWITCH, S. (1994) 'De la CFAO à la conception intégrée', *De la CFAO à la conception intégrée*, 9(5), pp. 609–621.

Tichkiewitch, S. (1997) 'La communication entre acteurs dans un processus de conception intégrée', *Entreprises communicantes Tendances et enjeux, Université Pôle Productive Rhône-Alpes, 5e session*, pp. 8–12.

Tichkiewitch, S. and Brissaud, D. (2000) 'Co-Ordination Between Product and Process Definitions in a Concurrent Engineering Environment', *CIRP Annals*, 49(1), pp. 75–78. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)62899-6](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)62899-6).

Tricot, A. and Plégat-Soutjis, F. (2003) 'Pour une approche ergonomique de la conception d'un dispositif de formation à distance utilisant les TIC', *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, 10(1), pp. 217–254. Available at: <https://doi.org/10.3406/stice.2003.862>.

Van Eerd, D. *et al.* (2010) 'Process and implementation of participatory ergonomic interventions: a systematic review', *Ergonomics*, 53(10), pp. 1153–1166. Available at: <https://doi.org/10.1080/00140139.2010.513452>.

Vinck, D. (1992) *Du laboratoire aux réseaux: le travail scientifique en mutation*. Luxembourg: Office des publ. officielles des Communautés Européennes (EUR, 14487).

Vinck, D. and Jeantet, A. (1995) 'Mediating and Commissioning Objects in the Sociotechnical Process of Product Design : a conceptual approach', in MACLEAN (Donald), SAVIOTTI (Paolo), and VINCK (Dominique) (eds) *Designs, Networks and Strategies*. Directorate General Science, R&D (COST A3 Social Sciences, vol. 2, Bruxelles), pp. 111–129. Available at: <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00273437> (Accessed: 10 August 2021).

Vinck, D., Jeantet, A. and Laureillard, P. (1996) 'Objects and Other Intermediaries in the Sociotechnical Process of Product Design : an exploratory approach', in V. (Dominique) PERRIN (Jacques) (ed.) *The role of design in the shaping of technology*. Directorate General Science, R&D. (COST A4 Social Sciences, vol. 5, Bruxelles), pp. 297–320. Available at: <https://shs.hal.science/halshs-00273425>.

Vinck, D. and Laureillard, P. (1996) 'Coordination par les objets dans les processus de conception', in.

Wang, K. and Trigano, P. (2009) 'Modeling Unit of Learning in Learning Management System and Learning Content Management System with User Preference', in *2009 Ninth International Conference on Hybrid Intelligent Systems. 2009 Ninth International Conference on Hybrid Intelligent Systems*, Shenyang, China: IEEE, pp. 221–225. Available at: <https://doi.org/10.1109/HIS.2009.259>.

Why Microsoft Uses Virtual Reality Headsets To Train Workers (2019). Available at: https://www.youtube.com/watch?time_continue=37&v=Rnk_akgSjgg (Accessed: 3 October 2019).

Wrzesien, M. and Alcañiz Raya, M. (2010) 'Learning in serious virtual worlds: Evaluation of learning effectiveness and appeal to students in the E-Junior project', *Computers & Education*, 55(1), pp. 178–187. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.01.003>.

Yu, W. *et al.* (2013) 'Effectiveness of participatory training for prevention of musculoskeletal disorders: a randomized controlled trial', *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 86(4), pp. 431–440. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00420-012-0775-3>.

Zaïbet, O. (2006) 'COLLABORATION DANS L'ENTREPRISE ET INTELLIGENCE COLLECTIVE', in *XVème Conférence Internationale de Management Stratégique*, Annecy, France, p. 28.

Zare, M. *et al.* (2016) 'Does Ergonomics Improve Product Quality and Reduce Costs? A Review Article: Ergonomics and Product Quality', *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 26(2), pp. 205–223. Available at: <https://doi.org/10.1002/hfm.20623>.

Zare, M. *et al.* (2017) 'Comparison of three methods for evaluation of work postures in a truck assembly plant', *Ergonomics*, 60(11), pp. 1551–1563. Available at: <https://doi.org/10.1080/00140139.2017.1314023>.

Zare, M. (2019) 'Usability testing of a serious game for Musculoskeletal Disorders prevention', in *Wellbeing at work in a changing world: challenges and opportunities*, Paris.

Zheng, S. (2022) 'Design and Implementation of Continuing Education Online Training System Based on Artificial Intelligence Algorithm', *Mobile Information Systems*. Edited by S. Aljawarneh, 2022, pp. 1–10. Available at: <https://doi.org/10.1155/2022/5465340>.

Table des illustrations

Figure 1 - Produits Stäubli : Raccords Electriques, Raccords Fluides, Robots et Textile (de gauche à droite).....	11
Figure 2 - Lien entre les contributions.....	18
Figure 3 - Représentation schématique de l'organisation de notre mémoire de thèse	20
Figure 4 Continuum de réalité virtualité propose par Milgram et Kishino (Milgram et al., 1994) .	23
Figure 5 - Conception d'en environnement virtuel selon Lourdeaux, 2001	27
Figure 6 - Méthode I ² I, tirée de Richir et al, 2006.....	28
Figure 7 - Méthode I ² I "pour l'utilité" tirée de Loup-Escande et al, 2011	29
Figure 8 - Schématisation des trois phases de la démarche d'analyse des travaux tirée de Boccara et Delgoulet, 2015	30
Figure 9 - Phases du processus de conception et actions réalisées au cours du projet VirtualiTeach tirée de Loup-Escande et al, 2015	32
Figure 10 Articles référencés de la littérature que nous avons classifiés en fonction des disciplines relevant de l'ergonomie, de l'informatique et de la formation professionnelle	57
Figure 11 - Schéma du processus au niveau macroscopique.....	57
Figure 12 - Etape "Analyser le besoin" (a) schéma de processus (b) schéma de transition	59
Figure 13 - Etape "Concevoir l'approche conceptuelle" (a) schéma de processus (b) schéma de transition.....	60
Figure 14 Un modèle de ratière	61
Figure 15 Extrait du scénario envoyé au concepteur XR	65
Figure 16 Poste de travail à gauche, Prototype VR au milieu et formé en VR à droite.....	65
Figure 17 – Nouveau plan de formation pour la formation au montage des ratières	67
Figure 18 - Etudes réalisées pour évaluer la proposition de modèle de processus de conception de FPI	67
Figure 19 – Procédure de test	71
Figure 20 – Utilisation de l'application	72
Figure 21 – Position de l'application (en rouge) au sein de l'échelle SUS.....	75
Figure 22 - Etape "Analyser le besoin"	77
Figure 23 - Etape "Concevoir l'approche conceptuelle"	78
Figure 24 - schéma type d'un actigramme selon la norme idef0	86
Figure 25 - Descriptif de la deuxième proposition de processus au niveau macroscopique.....	87
Figure 26 - Descriptif de l'activité A1 "Définir le besoin »	89
Figure 27 Descriptif de l'activité A2 "Réaliser la conception préliminaire ».....	91
Figure 28 Descriptif de l'actigramme A21 « Analyser de l'activité de formation ».....	92
Figure 29 - Descriptif de l'activité A3 "Conception détaillée"	93
Figure 30 - Descriptif de l'activité A4 "Utilisation et retours utilisateurs"	94
Figure 31 - Robot SCARA 4 axes TS2-40 Stäubli.....	95
Figure 32 - Organisation de la formation.....	100
Figure 33 - Organisation de la formation : à gauche la vue du traducteur, en haut à droite la vue de l'entreprise pilote et en bas à droite une vue du site à l'étranger.....	100
Figure 34 - Schéma prescrit réel de l'étape A1	102
Figure 35 - Schéma prescrit réel de la tâche A21	103
Figure 36 - Schéma prescrit réel de l'étape A2	104
Figure 37 - Exemple de chasses aux risques sur les consignes de sécurité en hauteur (3DVista)	108

Figure 38 - OI1 liste des risques initiaux en haut et carte de l'entreprise en bas.....	109
Figure 39 - OI2 : photo 320° complétée par des post-it	110
Figure 40 - Résultat du processus : Application chasse aux risques immersive.....	115
Figure 41 - Schéma prescrit réel de l'étape A1 du projet Chasse aux risques	116
Figure 42 - Schéma prescrit réel de l'étape A21 du projet Chasse aux risques	117
Figure 43 - Schéma prescrit réel de l'étape A2 du projet Chasse aux risques	118
Figure 44 - OIC : maquette d'une ratière	123
Figure 45 – Interface de l'application	125
Figure 46 – Environnement virtuel de l'application.....	126
Figure 47 – A1 « Définir le besoin ».....	127
Figure 48 – A2 « Réaliser la conception préliminaire »	128
Figure 49 – A21 « Analyse de l'activité »	129
Figure 50 - A1 « Définir le besoin »	136
Figure 51 – A2 “Réaliser la conception préliminaire”	137
Figure 52 - Evolution du processus de conception en roadmap.....	138
Figure 53 - Fiche méthodologique de la tâche A23 "Co-design with users"	139
Figure 54 - Procédure de l'évaluation de la roadmap.....	141
Figure 55 - Salle immersive dédiée à la formation dans l'entreprise pilote.....	160
Figure 56 - Outil positionnement.....	161

Table des tableaux

Tableau 1 - Profils des personnes ayant répondu à nos focus group.....	41
Tableau 2 - Profil de l'entreprise.....	43
Tableau 3 - Difficultés liées à la formation, opportunités et freins de l'utilisation des TI pour la formation.	49
Tableau 4 - Réalisation des opérations de montage en réel et en immersif (Ai = Apprenant numéro i)	72
Tableau 5 - Procédure des revues de projet.....	111
Tableau 6 - Décisions prises lors de l'intégration des risques	112
Tableau 7 - Information sur les participants lors de l'évaluation de la roadmap	142
Tableau 8 – Notes moyennes pour chacun des questions posées sur l'utilité de la roadmap	143
Tableau 9 - Notes moyennes pour chacune des questions posées sur l'utilisabilité de la roadmap	144
Tableau 10 - Notes moyennes pour chacune des questions posées sur l'acceptabilité de la roadmap ..	145

Liste des acronymes

- Réalité Virtuel : VR et RV
- Réalité Augmentée : AR et RA
- Réalité Mixte : MR et RM
- Extended Reality : XR
- Technologies Immersives : TI
- Environnement Virtuel : EV
- Conception Centrée-Utilisateur : CCU
- Formation Professionnelle Immersive : FPI
- Objet Intermédiaire de Conception : OIC
- Revue de Projet : RP
- Environnement Virtuel d'Apprentissage Humain (EVAH)

Liste des publications

ACL - Articles dans des revues internationales ou nationales avec comité de lecture répertoriées par l'HCERES ou dans les bases de données internationales (ISI Web of Knowledge, Pub Med, Scopus...). :

Agnès, A., Fleury, S., Auzeais, A., Bisson, I., Dulau, E., Buisine, S., Richir, S. (2020). Text input tools' complementarity in immersive virtual environments. International Journal of Design and Innovation Research.

ACTN - communications avec actes dans un congrès national avec comité de lecture :

BISSON I., MAHDJOUR M., ZARE M., BLUNTZER J.B., GOUTAUDIER F., RAVIER F., SAGOT J.C. (2021) « Cadre conceptuel appliqué à la conception de formation professionnelle immersive ». Colloque des Sciences de la Conception et de l'Innovation, Confere, 1-2 Juillet, Saint-Malo, France, 17 p.

GRILLOT, Louis, MOUNIER, Jean, BISSON, Isaline, BLUNTZER, Jean-Bernard et MAHDJOUR, Morad, 2021. Design produit et conception collaborative : intégration de l'eye tracking dans les outils de CAO. In: CONFERE 2021. Saint-Malo, France. 1 juillet 2021. p. 17.

Agnès, A., Fleury, S., Auzeais, A., Bisson, I., Dulau, E., Buisine, S., Richir, S. (2019). Complémentarité des outils de saisie de texte en environnement virtuel immersif. Confere'19 Colloque francophone sur les Sciences de l'Innovation.

BISSON I., MAHDJOUR M., ZARE M., GOUTAUDIER F., RAVIER F., SAGOT J.C. (2022) « EVALUATION D'UN ENVIRONNEMENT VIRTUEL POUR L'APPRENTISSAGE HUMAIN DANS LE CADRE D'UNE FORMATION PROFESSIONNELLE POUR L'INDUSTRIE TEXTILE ». Colloque des Sciences de la Conception et de l'Innovation, Confere, 7-8 Juillet, Bâle, Suisse, 12 p.

BISSON I., MAHDJOUR M., ZARE M., GOUTAUDIER F., RAVIER F., SAGOT J.C. (2022) « PROPOSITION D'UN PROCESSUS DE CONCEPTION COLLABORATIVE DE FORMATION PROFESSIONNELLE IMMERSIVE : BILAN D'UNE EXPERIENCE INDUSTRIELLE DE TROIS ANNEES ». 30ème Colloque des Sciences de la Conception et de l'Innovation, Confere, 6-7 Juillet, Gêne, Italie, 10 p.

ACTI -communications avec actes dans un congrès international :

Bisson, I., Mahdjoub, M., Zare, M., Bluntzer, J., Sagot, J., Goutaudier, F., & Ravier, F. (2022). Proposal of a Conceptual Framework for Collaborative Design of Immersive Professional Training: Application to the Textile Industry. Proceedings of the Design Society, 2, 111-120. doi:10.1017/pds.2022.12

Bisson, I., Mahdjoub, M., Zare, M., Sagot, J., Goutaudier, F., & Ravier, F. (2022). Immersive professional training for the textile industry. In EuroXR 2022 : Proceedings of the EuroXR Conference. VTT Technical Research Centre of Finland, 2022. TON NOMBRE DE PAGES. (VTT Technology; No. 408), Application track, doi:10.32040/2242-122X.2022.T408

Bisson, I., Mahdjoub, M., Zare, M., Goutaudier, F., Ravier, F., Sagot, J.-C. (2023) 'Effect of Intermediary Object Use during Collaborative Design Activities of Immersive Applications: Focus on Professional Training Application', in Proceedings of the International Conference on Engineering Design (ICED23), Bordeaux, France, 24-28 July 2023. DOI:10.1017/pds.2023.156

Prix scientifique :

2021, Best Presentation, CONFERE 2021, Saint Malo.

Séminaire ERCOS :

Septembre, 2023 : Séminaire ERCOS : Ergo-Design : Innovating sustainability through ergonomics and design

Annexes

1. Annexe 1 : Guide entretien qualitatif

Catégories	Topics
La formation actuelle	<p>Quel est la politique de formation dans votre service ?</p> <p>Quelles sont les formations qui sont faites ? Par et pour qui ?</p> <p>Comment cela se passe en pratique pour former les personnes ? (Méthodologie, ...)</p> <p>Qu'en pensez-vous ?</p> <p>Quels sont les supports de formations utilisés ? (Vidéo, PowerPoint, papier, ...)</p> <p>Quels sont les apports de ces formations ? (Connaissances, compétences, acquis d'apprentissages ...)</p> <p>Quels sont les paramètres de mesure après formation ? (Qualité de travail, ...)</p> <p>Comment sont-ils évalués ? (QCM, évaluation, appréciation, ...)</p> <p>Quels sont vos ressentis sur les apports de la formation et les évaluations ?</p> <p>Comment les personnes ont été formées (activité de formation) depuis les dernières années (est-ce qu'il y a eu une évolution de la formation ?)</p> <p>Qu'en pensez-vous ?</p> <p>Pensez-vous que la production influence la formation et comment ? (Embauche, mobilisation de ressources matérielles et humaines, ...)</p> <p>Quels sont les formations pour lesquels vous rencontrez le plus de difficultés (temps, compréhension, erreur, matériel...) ?</p>
La formation immersive (si déjà déployé)	<p>Pourquoi le choix de cette formation immersive ? (Pallier une formation existante, nouveau besoin de formation)</p> <p>Quel est votre perception sur cette formation immersive ?</p> <p>Comment avez-vous développé ce genre de formation ? (Où trouver l'information, les idées, démarchage société externe, fait par un externe)</p> <p>Comment la formation a été accepté ?</p>
La formation immersive (si pas déployé)	<p>Connaissez-vous ou avez-vous déjà vécu une expérience immersive ?</p> <p>Quelles sont les circonstances qui peut vous amener à faire évoluer la formation en immersif ?</p> <p>Quels seraient vos besoins pour une formation immersive ? (Prendre en compte l'opérateur, retrouver l'environnement de travail, ...)</p> <p>Comment mon travail peut vous aider à mettre en place une formation immersive ?</p> <p>Croyez-vous-en ce genre de formations utilisant les technologies immersives ?</p> <p>Ressentez-vous une réticence à l'utilisation des technologies immersives pour la formation dans le cadre e votre travail ? Une réticence des futurs formés ?</p> <p>Quel est votre perception sur ce genre de formation ?</p> <p>Combien êtes-vous prêt à investir pour ces formations ?</p>

2. Annexe 2 : Analyse de la formation au poste de montage des ratières

Profil opérateur

1. Quel âge avez-vous ?
2. Depuis combien de temps travaillez-vous chez Stäubli ? Au montage des ratières ?
3. Quels est votre expérience (connaissances, compétences, anciens postes, diplômes, ...) ?
4. Combien de personnes avez-vous déjà formé ? A quelle fréquence ?
5. Appréciez-vous animer des formations ?

Plan de formation

1. Quels sont les grandes étapes qui composent la formation au montage des ratières ?
2. Quels sont les acquis d'apprentissage générique à un poste de montage et spécifiques au montage des ratières ?
3. Comment procédez-vous pour transmettre ces acquis d'apprentissage (connaissances, compétences) ?
4. Quels sont les critères d'évaluation des acquis d'apprentissage ?
5. Comment évaluez-vous ces critères d'acquis d'apprentissage ?
6. Quelles sont les sources d'erreurs et/ou blocage pendant la formation ?
7. Problème lié aux moyens misent à disposition (support, démos) ?
8. Problème lié aux formateurs (pas à l'aise, manque de pédagogie) ?

Problèmes liés à la formation

1. Quels sont les étapes/tâches difficiles à former ? Pourquoi ?
2. Quels sont les acquis d'apprentissage difficiles à transmettre ? Pourquoi ?
3. Quels sont les acquis d'apprentissage difficiles à évaluer ? Pourquoi ?

3. Annexe 3 : Questionnaire

Sujet	Catégories	Item mesuré	Source
UX application	Présence	PR1 : Êtes-vous parvenu à vous concentrer sur les tâches plutôt que sur les manettes ?	<i>Tcha-Tokey, 2018</i>
	Immersion	PR2 : Est-ce que l'environnement vous semblait réel ?	
		IM1 : Étiez-vous conscient de ce qui pouvait se passer autour de vous ?	<i>Shin & al, 2013</i>
		IM2 : Étiez-vous détaché de l'environnement extérieur ?	<i>Shin & al, 2013</i>
	Utilisabilité	IM3 : Est-ce que vous vous êtes senti sur votre poste de travail plutôt que dans un apprentissage virtuel ?	<i>Shin & al, 2013</i>
		UTS1 : Trouvez-vous qu'apprendre avec l'application est facile ?	<i>Shin & al, 2013</i>
		UTS2 : Trouvez-vous que les interactions à travers l'application sont claires et compréhensibles ?	<i>Shin & al, 2013</i>
	Emotion	UTS3 : Est-ce que globalement, l'apprentissage de l'applications est facile pour vous ?	<i>Shin & al, 2013</i>
		EM1 : Êtes-vous satisfait de l'expérience avec l'application ?	<i>Shin & al, 2013</i>
		EM2 : Avez-vous eu des problèmes/plaintes avec l'application ?	<i>Shin & al, 2013</i>
	Intention d'utiliser	EM3 : Globalement, êtes-vous satisfait de l'application ?	<i>Shin & al, 2013</i>
		IN1 : Pensez-vous utiliser l'application dans le futur ?	<i>Shin & al, 2013</i>
		IN2 : Est-ce que vous recommandez aux autres d'utiliser l'application ?	<i>Shin & al, 2013</i>
	Confirmation	IN3 : Est-ce que vous avez l'intention d'utiliser l'application à l'avenir ?	<i>Shin & al, 2013</i>
CO1 : Est-ce que votre expérience à utiliser l'application était meilleure que ce que vous aviez imaginé ?		<i>Shin & al, 2013</i>	
Cyber-malaise	CO2 : Est-ce que globalement la majorité de vos attentes concernant l'application était confirmée ?	<i>Shin & al, 2013</i>	
	CY1 : Est-ce que vous avez ressenti l'un de ces symptômes durant l'interaction avec l'environnement virtuel ? Fatigue, fatigue visuelle, maux de tête, augmentation de la salivation, nausées, lourdeur dans la tête, étourdissement, vertiges.	<i>Tcha-Tokey, 2018</i>	
	Expérience	EX1 : À votre avis, quels ont été les points positifs de votre expérience ?	<i>Tcha-Tokey, 2018</i>
EX2 : À votre avis, quels ont été les points négatifs de votre expérience ?		<i>Tcha-Tokey, 2018</i>	
EX3 : Avez-vous des suggestions pour améliorer cet environnement de réalité virtuelle ?		<i>Tcha-Tokey, 2018</i>	
Retours sur l'apprentissage	Flow	FL1 : Est-ce que à chaque étape vous saviez ce que vous deviez faire ?	<i>Tcha-Tokey, 2018</i>
		FL2 : Est-ce que vous sentiez que vous contrôliez parfaitement vos actions ?	<i>Tcha-Tokey, 2018</i>
	Utilité	UT1 : Est-ce que selon vous, vous pensez que l'application est utile ?	<i>Shin & al, 2013</i>
		UT2 : Est-ce que vous trouvé que l'application est un bon support d'aide au compagnonnage ?	

4. Annexe 4 : Questionnaire pré-passation

N° Item	Question	Sous-question	Réponses possible				
			Un homme		Une femme		Autre
1	Vous êtes ?		Un homme		Une femme		Autre
2	Quel âge avez-vous ?		Moins de 25 ans	Entre 25 et 35 ans	Entre 36 et 45 ans	Entre 46 et 55 ans	Plus de 55 ans
3	A quelle catégorie socio professionnelle appartenez-vous ?		Étudiant	Employé	Indépendant	Retraité	Autre
4	Si vous êtes un étudiant, quelles études faites-vous ?		DUT	Classe préparatoire	BTS	École d'ingénieur	Autre
5	Comment évaluez-vous vos connaissances en réalité virtuelle sur une échelle de 1 à 5 ?		1 (aucune connaissance)	2	3	4	5 (expert)
6	Avez-vous déjà utilisé la réalité virtuelle ?		Oui		Non		
7	Si oui, dans quel contexte ?		Jeux vidéo	Travail	Expérience	Autre	
8	Quelles activités informatiques utilisant la 3D pratiquez-vous ?	Jeux vidéo à moteur 3D	Jamais	Moins d'une fois par mois	Plusieurs fois par mois	Plusieurs fois par semaine	Tous les jours
9		Logiciels de CAO (Catia, Solidworks, Autocad, ...)	Jamais	Moins d'une fois par mois	Plusieurs fois par mois	Plusieurs fois par semaine	Tous les jours
10		Logiciel de dessin, modélisation (3DS Max, Maya, ...)	Jamais	Moins d'une fois par mois	Plusieurs fois par mois	Plusieurs fois par semaine	Tous les jours
11		Logiciel de création de scène interactive et temps réel (Virttools, Unity, Unreal Engine, ...)	Jamais	Moins d'une fois par mois	Plusieurs fois par mois	Plusieurs fois par semaine	Tous les jours

5. Annexe 5 : Questionnaire post-passation

Items	Questions	Source
SUS	J'aimerais utiliser ce type d'application fréquemment	Gronier, G. & Baudet, A., 2021
SUS	Je trouve cette application inutilement complexe	Gronier, G. & Baudet, A., 2021
SUS	Je pense que cette application est facile à utiliser	Gronier, G. & Baudet, A., 2021
SUS	Je pense que j'aurai besoin de l'aide d'un support technique pour être capable d'utiliser cette application	Gronier, G. & Baudet, A., 2021
SUS	J'ai trouvé que les différentes fonctionnalités de cette application étaient bien intégrées	Gronier, G. & Baudet, A., 2021
SUS	Je pense qu'il y a trop d'incohérence dans cette application	Gronier, G. & Baudet, A., 2021
SUS	J'imagine que la plupart des personnes seraient capables d'apprendre à utiliser cette application très rapidement	Gronier, G. & Baudet, A., 2021
SUS	J'ai trouvé cette application lourde (fastidieuse) à utiliser	Gronier, G. & Baudet, A., 2021
SUS	Je me sentais très en confiance en utilisant cette application	Gronier, G. & Baudet, A., 2021
SUS	J'ai eu besoin d'apprendre beaucoup de choses avant de pouvoir utiliser cette application	Gronier, G. & Baudet, A., 2021
Présence	Parmi ces tâches, je suis parvenu à me concentrer sur la tâche requise plutôt que sur les manettes	Tcha-Tokey, 2018
Flow	A chaque étape, je savais ce que je devais faire	Tcha-Tokey, 2018
Conséquence de l'expérience	J'ai ressenti l'un de ces symptômes	Tcha-Tokey, 2018
Immersion	Je me suis senti détaché de l'environnement réel	Shin & al, 2013
Immersion	Je me suis senti stimulé par l'application	Tcha-Tokey, 2018
Presence	Mes interactions avec l'environnement me semblaient naturelles	Tcha-Tokey, 2018
Immersion	Je me suis senti dans un atelier de production plutôt que dans une application en train de manipuler des manettes	Tcha-Tokey, 2018
	Selon vous, quels sont les points positifs de cette expérience ?	Tcha-Tokey, 2018

6. Annexe 6 : Questionnaire pour évaluer l'impact de l'OIC sur la qualité de la collaboration

Sujet	Catégories	Items mesurés	Sources
Ressources	Utilité	US : Comment qualifiez-vous l'utilité des outils utilisés pour votre projet?	<i>Al Khatib et al, 2015</i>
	Idées générées	IG : Comment qualifiez-vous l'impact des outils utilisés sur la quantité des idées générées ?	<i>Al Khatib et al, 2015</i>
	Décisions prises	DT : Comment qualifiez-vous l'impact des outils utilisés sur la quantité des décisions prises ?	<i>Al Khatib et al, 2015</i>
	Compréhension du projet	PU : Est-ce que les outils proposés vous ont permis de mieux comprendre le concept?	<i>Al Khatib et al, 2015</i>
	Communication et échange	CE : Est-ce-que les outils utilisés lors de cette revue de projet ont permis de mieux favoriser la discussion et les échanges d'idées entre les participants p?	<i>Al Khatib et al, 2015</i>
	Motivation	MO : Est-ce que les outils utilisés ont influencé la motivation du groupe projet à travailler ensemble ?	<i>Al Khatib et al, 2015</i>
	Satisfaction	SA : Comment qualifieriez-vous votre satisfaction des revues de projet ?	<i>Al Khatib et al, 2015</i>
	Collaboration	CO : Avez-vous rencontré des problèmes de collaboration avec les autres experts métier durant cette revue de projet (problèmes de compréhension, désaccords, ...)	<i>Al Khatib et al, 2015</i>
	Cohesion	CH : Comment qualifieriez-vous l'influence des outils utilisés sur la cohésion du groupe projet ?	<i>Kobenan, 2018</i>
	Crédibilité	CR : Êtes-vous sentis plus crédible quand vous utilisiez les outils pour partager vos idées ?	<i>Kobenan, 2018</i>
Coordination	Recommencement	RE : Avez-vous souvent eu besoin de revenir en arrière et de recommencer pendant les revues de projet ?	<i>Kobenan, 2018</i>
Partage des objectifs	Atteintes des objectifs	AO : Avez-vous atteint les objectifs du projet ?	<i>Kobenan, 2018</i>
Intégration des expertises	Connaissance de son domaine	KD : Avez-vous acquis des connaissances à propos de votre domaine pendant les revues de projets ?	<i>Kobenan, 2018</i>
	Connaissance partagée	KS : Pensez-vous avoir du métier des autres personnes de l'équipe grâce aux outils ?	<i>Kobenan, 2018</i>
Stratégie de prise de décision	Solidarité	SO : Avez-vous ressentis de la solidarité avec l'équipe projet lors de la prise de décision grâce aux outils ?	<i>Kobenan, 2018</i>
	Collectivité	CL : Est-ce que les décisions ont été prises collectivement quand vous utilisez les outils ?	<i>Kobenan, 2018</i>
Autres		O1 : Quels sont les outils ou supports qui vous ont manqué pendant les revues de projet ? Pour quelle(s) raison(s) ?	<i>Kobenan, 2018</i>
		O2 : Avez-vous des commentaires ?	<i>Kobenan, 2018</i>

Définition du besoin

La définition du besoin permet de cibler les attentes du commanditaire ainsi que les contraintes qui porteront sur le projet. Le besoin est à définir à partir d'échanges avec le commanditaire. Un guide d'entretien est à votre disposition pour orienter la discussion.

Attention ce guide d'entretien est générique, il est important de l'adapter au projet si besoin.

1. Personnes concernées :

- Un commanditaire
- Pilote projet

2. Organisation :

Avant les tests :

- Mettre à jour le guide d'entretien (cf. Guide d'entretien) 0
- Planifier l'entretien – écrire les objectifs dans l'invitation et partager le guide d'entretien

Le jour des tests :

- Accueillir la personne et lui expliquer l'objectif de la séance
- Dérouter l'entretien et remplir le document

Après les tests :

- Rédiger un CR à partir des données récupérées
- Faire une restitution pour valider

3. Conseil / REX

- Il est possible d'enregistrer l'entretien si vous ne souhaitez pas prendre de note ou remplir le document directement. Pensez à prendre un dictaphone et demander l'accord des participants pour les enregistrer.

4. Document à disposition

Guide d'entretien

Origine du projet :

1. Quelle est l'origine du projet ? (Motifs financiers, concerner + d'apprenants, répondre mieux aux contraintes, disponibilité, ...)
2. Quels sont les facteurs générateurs de la demande de formation ?
3. Quel bénéfice de la formation est attendu ?
4. Quel est l'objectif opérationnel de la formation ?
5. Quels sont les autres facteurs dont dépend l'atteinte de l'objectif opérationnel : information, moyens, soutien de la hiérarchie, organisation du travail, etc. ?

7. Annexe 7 : fiche A10 : Recueil du besoin du client

6. Qui sont les acteurs à l'origine du projet de formation ?
7. Quels sont les indicateurs ou les faits significatifs qui prouveront que cet objectif est atteint ?

Condition de conception :

1. Quelles sont les contraintes à respecter, les ressources pouvant être utilisées : délai de réalisation, durée de la formation, budget, outils et locaux de travail et/ou de formation, documentation, experts, etc.
2. Comment s'organise la communication entre les acteurs de ce processus ?
3. Quels sont les intervenants et les experts mobilisables ?
4. Quelles compétences ou métiers sont requis ou disponibles ? Ingénieur, donneur d'ordres, infographiste, documentaliste, programmeur, enseignant-formateur, ergonomiste, etc. ? SSE, maîtrise, qualité

Les apprenants

1. Quelles sont les connaissances antérieures des apprenants dans le domaine ?
2. Les apprenants sont-ils des débutants dans le domaine de connaissances (prévention sécurité) ou au contraire sont-ils déjà experts ?
3. Sont-ils familiers avec les savoirs, savoir-faire, méthodes qui vont être abordés ?
4. Quelles sont les stratégies d'apprentissage utilisées par les apprenants, voire leur style ?
5. Quelles sont les connaissances antérieures, les expériences, des apprenants dans le domaine des technologies immerstres ?
6. Quels sont les motifs des apprenants pour suivre cette formation ?

Comment apprennent-ils ?

1. Quels sont les savoirs de référence, les habilités pratiques ou manuelles, les attitudes et comportements que cela suppose ?
2. Pour quels résultats ?
3. Quelles sont les contraintes matérielles qui pèsent sur les apprenants ? Spatiales et temporelles ?
4. Est-ce qu'un tuteur sera présent ou disponible pour aider l'apprenant ?
5. Quelle sera (quantitativement et qualitativement) cette disponibilité ?
6. Mais aussi : quels autres apprenants seront accessibles ? Sera-t-il possible de réaliser des travaux en commun, d'échanger, de demander de l'aide ?
7. Quels documents techniques et quels documents de formation seront accessibles à l'apprenant ? Dans quelles conditions ? Quand ?

8. Annexe 8 : Scénario pour l'évaluation de la roadmap

Scénario 1 :

Nous avons besoin de développer un outil immersif et interactif pour former nos nouveaux opérateurs à leurs tâches de montage. L'objectif initial est que les apprenants rencontrent plus rapidement et plus souvent différents défauts de montage que les opérateurs ne peuvent rencontrer en situation réelle. La rencontre des défauts dépend de l'activité de production.

Cette formation devra servir pour qualifier les opérateurs en fin de formation. A l'heure actuelle, les défauts sont capitalisés dans la gamme de montage et les apprenants sont formés par leurs compagnons. Il n'y a pas de plan de formation ni d'évaluation formalisé pour le formateur. Il n'y a pas de support pédagogique à disposition.

Vous avez un délai de 6 mois pour réaliser le projet. Il est possible de réaliser des observations sur le lieu de travail et de formation en présence ou non des opérateurs. Vous serez seul pour travailler sur ce projet. Vous avez un budget à disposition de 40 000€ pour de la sous-traitance informatique.

Scénario 2 :

Nous avons besoin de développer un outil de formation plus interactif et plus immersif pour un module de formation à la sécurité.

Aujourd'hui les nouveaux entrants passent cette formation en 2 heures avec un agent de maîtrise. Le support de formation actuel est un fichier PDF qui est lu et commenté par l'agent de maîtrise en salle. Nous souhaitons que les apprenants soient confrontés de manière plus concrète aux risques qui sont évoqués durant la formation. Nous souhaitons également que cet outil permette une évaluation des personnes.

Nous souhaiterions disposer de la solution dans 4 mois. Vous avez à disposition les agents de maîtrise qui sont les formateurs. Vous avez la possibilité de faire participer à ce projet les représentants du service SSE et RH. Enfin, vous devrez utiliser la solution 3DVista avec des casques de réalité virtuelle qui sont déjà à notre disposition pour limiter les frais sur ce projet. Vous devrez gérer la gestion du développement de l'application en interne.

Scénario 3 :

Suite à une mise à jour d'un processus industriel, nous avons besoin de mettre à jour notre application associée de formation en réalité virtuelle à destination des nouveaux entrants. Cette application de formation est utilisée en complément d'une formation en situation réelle (compagnonnage). L'application étant existante vous disposez de retours d'expériences capitalisés au cours des derniers mois. Il est demandé de prendre en compte ces retours d'expériences.

Pour réaliser ce projet, vous disposez de 6 mois. Vous disposez d'un budget de développement de 20 000€. Vous pourrez observer les situations de formation à l'aide de l'application et en situation réelle mais aussi des situations de travail. Pour cela, cinq opérateurs de production seront à votre disposition. Nous souhaitons conserver les mêmes dispositifs matériels que dans l'application actuelle (Casque HTC Vive Pro).

9. Annexe 9 : résultats évaluation de la roadmap

Items	Sous-items	Questions	Réponses possibles	Sources
Utilité	Efficacité projetée	Pensez-vous que la roadmap contribue à atteindre les objectifs fixés par les scénarios ?	1 (pas du tout d'accord) à 5 (tout à fait d'accord)	Lionel Bennes, 2013
	Utilité-destination	Pensez-vous que la roadmap est utile pour concevoir des formations immersives ? (ordonnancer les tâches, planifier les tâches, allouer des ressources, guider dans les tâches à	1 (pas du tout d'accord) à 5 (tout à fait d'accord)	Lionel Bennes, 2013
	Utilité-valeur	Pensez-vous que la roadmap va permettre de concevoir des formations immersives utile/pertinent pour les formateurs et apprenants ?	1 (pas du tout d'accord) à 5 (tout à fait d'accord)	Lionel Bennes, 2013
Items	Sous-items	Questions	Réponses possibles	Sources
Utilisabilité projeté	Clarté	Comment évaluez vous le temps pris pour comprendre la roadmap ?	1 (court) – 5 (long)	Lionel Bennes, 2013
	Facilité à utiliser	Pensez-vous que la roadmap est facile à utiliser ? Naviguer dans la roadmap ou mettre en œuvre les outils ?	1 (pas du tout d'accord) à 5 (tout à fait d'accord)	Lionel Bennes, 2013
	Charge de travail	Pensez-vous que la roadmap diminue votre charge de travail (pour gérer un tel projet) ?	1 (pas du tout d'accord) à 5 (tout à fait d'accord)	Juliette Renaud 2020
	Flexibilité	Selon vous, est-ce que la roadmap s'adapte bien à la nature des projets demandés dans les scénarios ?	1 (pas du tout d'accord) – 5 (tout à fait d'accord)	Juliette Renaud 2020
	Ajustabilité	Selon vous, est-ce que la roadmap peut s'ajuster à l'équipe projet constituée ? (réduite ou complète, et des compétences de l'équipe)	1 (pas du tout d'accord) – 5 (tout à fait d'accord)	Juliette Renaud 2020
	Facilité à déployer	Selon vous, est-ce que la roadmap serait facile à déployer dans votre service ? (avec conditions réunies)	1 (pas du tout d'accord) – 5 (tout à fait d'accord)	Juliette Renaud 2020
	Capabilité	Vous sentiriez-vous capable de réaliser les projets ? (sentiment de se sentir capable de l'utiliser)	1 (pas du tout d'accord) – 5 (tout à fait d'accord)	
Items	Sous-items	Questions	Réponses possibles	Sources
Acceptabilité	Compatibilité	Selon vous, est-ce que la roadmap est compatible avec le fonctionnement de l'entreprise ? (stratégie ou manière de piloter un projet)	1 (pas du tout d'accord) – 5 (tout à fait d'accord)	Juliette Renaud 2020
	Intention d'utiliser	Selon vous, avez-vous l'intention d'utiliser de la roadmap pour un futur projet ?	1 (pas du tout d'accord) – 5 (tout à fait d'accord)	
	Intention de faire utiliser par	Selon vous, conseillerez vous à quelqu'un de votre équipe d'utiliser la roadmap pour piloter un futur projet ?	1 (pas du tout d'accord) – 5 (tout à fait d'accord)	
	Adapté à un projet de formation non immersif ?	Selon vous, cet outil est adapté à des projets de conception de formation non immersif ?	1 (pas du tout d'accord) – 5 (tout à fait d'accord)	
Autres	générale	Donnez une note entre 0 et 20 sur votre appréciation générale de la roadmap	0/20	

Titre : Approche multidimensionnelle et collaborative de la conception de formations professionnelles immersives centrée sur les utilisateurs

Mots clés : Conception collaborative, Formation professionnelle, Technologie immersive, Conception centrée-utilisateur, Ergonomie

Résumé : Cette thèse explore la création d'applications immersives pour la formation professionnelle et se penche sur la manière d'améliorer l'intégration des utilisateurs dans ce processus. Stäubli, acteur mondial de solutions industrielles et mécatroniques, s'est associée au pôle ERCOS du laboratoire ELLIADD pour résoudre ce problème. Le but est de proposer un processus de conception collaborative et centrée sur les utilisateurs de formations professionnelles immersives.

Les quatre contributions de thèse incluent un état des lieux des pratiques de formation chez Stäubli, un modèle de conception adapté au contexte industriel, une analyse des phases de création collaborative des scénarios pédagogiques et la création d'une roadmap pour faciliter la mise en œuvre des projets de formation immersive par les équipes de Stäubli. En résumé, cette thèse vise à améliorer la formation professionnelle en situation immersive en intégrant les besoins des utilisateurs.

Title : A multidimensional and collaborative approach to user-centred immersive professional training design

Keywords : Collaborative design, Professional training, Immersive technology, User-centred design, Ergonomics

Abstract : This thesis explores the development of immersive applications for professional training and focuses on enhancing user integration in this process. Stäubli, a global player in industrial and mechatronic solutions, has partnered with the ERCOS department of the ELLIADD laboratory to address this issue. The goal is to propose a collaborative and user-centered design process for immersive professional training.

The four thesis contributions include an overview of training practices at Stäubli, a design model tailored to the industrial context, an analysis of the collaborative development phases of educational scenarios, and the creation of a roadmap to facilitate the implementation of immersive training projects by Stäubli's teams. In summary, this thesis aims to improve professional training in an immersive setting by integrating user needs.